191



النهاية

الكوارث الكونية وأثرها في مسار الكون

تأليف: فرانك كلوز

ترجمة: د. مصطفى إبراهيم فهمي

مراجعة: عبد السلام رضوان

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

191

النهاية

الكوارث الكونية وأثرها في مسار الكون

تأليف: فرانك كلوز

ترجمة: د. مصطفى إبراهيم فهمي

مراجعة: عبد السلام رضوان



المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

المحتوى

المحتوى

المحتوى

المحتوى

مقدمه المترجم

في هذا الكتاب عرض سلس لأهم الموضوعات التي تشغل الآن الكثيرين من الفيزيائيين الكونيين. والفيزياء الكونية علم حديث ظهر مع بدايات القرن العشرين، وهو يبحث في الكون ككل سواء في أجرامه الضخمة الهائلة من مجرات ونجوم وكواكب، أو في جسيماته المتناهية الصغر التي تتكون منها ذرات المادة. وقد حدث تقدم هائل في هذا العلم في النصف الثاني من القرن العشرين، خاصة بعد استكشاف مجاهل الفضاء بما أرسل فيه من سفن فضاء ومراصد عديدة مثل سفن فوياجير وبيونير ومرصد هابل الفضائي.

ونتيجة للمعلومات الغزيرة التي توافرت هكذا أخذت ترسخ النظرية السائدة عن أن الكون قد بدأ بما يسمى الانفجار الكبير. ولكن إذا كان هناك شبه اتفاق على نظرية بدء الكون، فكيف تكون نهايته؟

للإجابة عن هذا السؤال يطوف بنا العالم فرانك كلوز في رحلة واسعة عبر الفضاء والمجرات والشهب والنيازك والكويكبات والنجوم التي تتفجر، ونجوم السوبرنوفا، ثم يدخل بنا في رحلته إلى صميم قلب المادة حيث جسيمات الذرة من إلكترونات وبروتونات وغيرها. وهو يعرض في هذه الرحلة لأحدث ما تم اكتشافه في هذه المجالات، ويبين الاحتمالات المختلفة لحدوث كارثة كونية قد تبيد الحياة على أرضنا جزئيا أو كليا كما قد يحدث

مثلا لو اصطدم نيزك هائل أو كويكب بالأرض. أو أن النهاية قد تكون بانفجار الشمس وتحولها إلى نجم عملاق أحمر يلتهم كواكب المنظومة الشمسية. أو لعل النهاية أن تكون بتآكل مادة الكون الأساسية نفسها أي ذراته أو بروتوناته. ورغم أن احتمال وقوع هذه الأحداث هو غالبا احتمال ضئيل، كما أنها قد لا تحدث إلا بعد زمن طويل بما قد يصل حسابه إلى بلايين السنين، فإنه من وجهة النظر العلمية الخالصة يظل احتمال وقوعها قائما. ومن الناس من يظن أن العلم قد وصل بالإنسان إلى قدرات غير محدودة، ولكن وجود هذا الاحتمال بوقوع كوارث كونية، مهما كان هذا الاحتمال ضئيلا، فإنه يبين أن كوننا هذا هو كون هش عرضة للزوال في لحظة، وأن قدراتنا العلمية رغم تزايدها مازالت بعيدة تماما عن السيطرة على الطبيعة سيطرة كاملة أو حتى شبه كاملة.

ومع ذلك فإننا ينبغي ألا نظل جالسين في سلبية، منشغلين فقط بحساب نسبة احتمالات الكوارث، مطمئنين لضآلة هذه الاحتمالات، وإنما يجب أن نأخذ هذه الأمور جديا وأن نبدأ في تدبير كيفية توقيها من الآن.

ومن الحلول المقترحة التي يعرضها الكتاب حل هو أقرب لأفكار روايات الخيال العلمي، ولكنه مبني على أساس علمي متين؛ وهذا الحل هو ليس أقل من أن يستعمر الإنسان الفضاء في الوقت المناسب لترك كوكب الأرض المهدد. ولكن هل سيكون إنسان مستعمرات الفضاء على شاكلة إنسان الأرض نفسه ؟

ويتم عرض هذا كله بأسلوب شائق وبسيط قدر الإمكان بما يوضح للقارئ آخر ما وصلت إليه آفاق هذا العلم الحديث.

د. مصطفى إبراهيم فهمي

1 نهاية كل شيء.. متى؟

في معبد «براهما»، فيما وراء زانادو، يقوم الكهنة بعد الأيام حتى نهاية الزمان.

ويحتوي المعبد، طبقا للأسطورة على ثلاثة أهرام مقدسة من الحجارة تمثل براهما الخالق وفشنو الحافظ، وشيفا المهلك. وفي اليوم الأول خلق براهما العالم وبنى هرما واحدا من 42 حجرا، بحيث تكون أكبر الحجارة في أسفل.

وفي كل يوم عند الغروب ينقل الكهنة حجرا واحدا من براهما إلى فشنو، ومن فشنو لشيفا، أو ربما مباشرة من براهما لشيفا. والقاعدة الوحيدة التي ينبغي مراعاتها في ذلك هي ألا يضعوا قط حجرا كبيرا فوق حجر صغير. وفي نهاية المطاف فإن كل الحجارة-ماعدا حجرا واحدا-سيكون قد تم نقلها من الخالق وخلال الحافظ إلى الكون المنتمي إلى المهلك. ومع أفول الشمس ونقل الحجر الأخير، تكون مهمة الكهنة قد اكتملت: لقد خلق براهما الكون وها هو فشنو يفنيه الآن، ولن تشرق الشمس قط مرة ثانية.

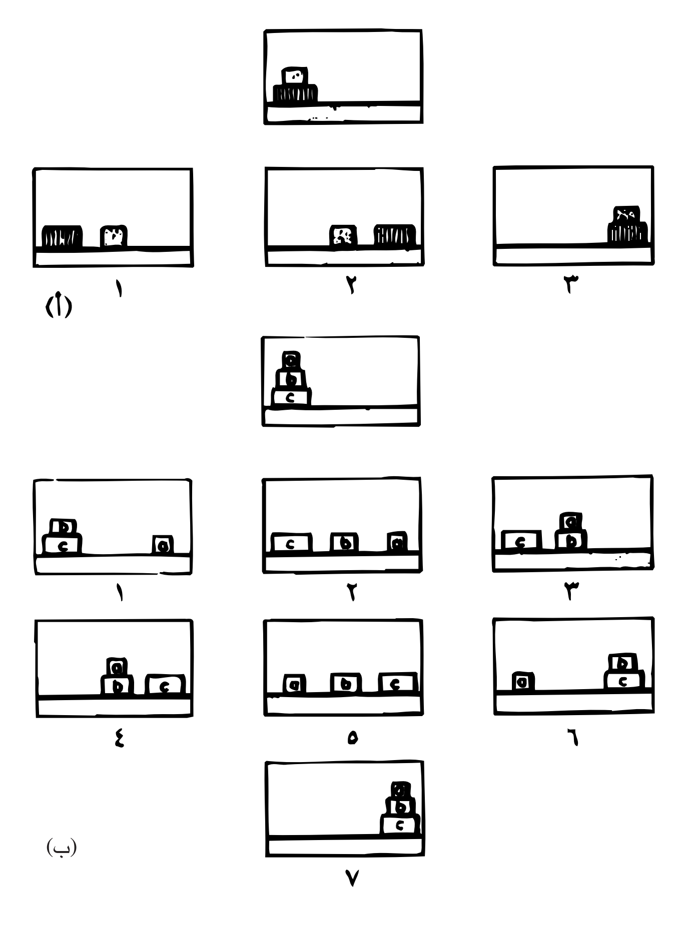
لو أن هذه الأسطورة كانت حقيقية، فما مدة بقاء الكون: أو ما عدد حركات النقل التي ينبغي أن يقوم بها الكهنة؟

إن من السهل أن نرى أنه إذا كان هناك حجران فقط فإن حركات النقل التي تنجز المهمة هي في إجمالها ثلاث حركات. وإذا كان هناك ثلاث قطع من الحجر فإن إجمالي الحركات يصل إلى ما يزيد على الضعف، أي إلى سبع حركات (الحل مبين في شكل ١-١). ولعلك مهتم بمعرفة النتيجة لو كان عدد الأحجار أربعة. إنها تستلزم 15 حركة نقل. وكل حجر إضافي يزيد من عدد الحركات المطلوبة بما هو أكثر من الضعف. فمن أجل نقل 42 حجرا يجب أن يقوم الكهنة بحركات نقل عددها يقل بواحد عن حاصل ضرب الاثنين في نفسها لاثنتين وأربعين مرة (422-1). ولما كان الكهنة ينقلون حجرا واحدا عند كل غروب فإن نقل الحجارة كلها سيستغرق منهم ما يزيد قليلا على 10 بلايين من الأعوام، وهذا هو عمر الكون-الآن!

إن عمر الكون قد يمتد إلى هذا الكم السحيق من السنوات، لكن الشمس والأرض أصغر عمرا بكثير، إذ يقل قليلا عن 5 بلايين من السنين. وبما أن الكهنة لم ينهوا سوى نصف مهمتهم، إذن فلا يزال أمامنا نحن والشمس خمسة بلايين عام لنفنى. والعلم الحديث يوافق على هذا التقدير لمستقبل الشمس.

وعلى ذلك فذات يوم بعد خمسة بلايين من السنين من عصرنا هذا ستكون الشمس قد فنيت وفنينا نحن معها أيضا. على أن العوالم تنتهي بطرق كثيرة، وكلما زاد تقدم العلم ظهر المزيد ممن يتبارون في التنبؤ بنهاية الكون.

ورغم أن علماء الفلك على دراية كبيرة بمجموعات النجوم، بل وحتى بالمجرات البعيدة فإن معرفتنا محدودة نسبيا بجيرتنا المباشرة، على أن هذه الجيرة بعينها هي التي تشكل أعظم الأخطار في المدى القصير. فالسماء تتساقط منها على فترات دورية كتل من الصخور، بل وأجزاء من كواكب صغرى (كويكبات) ومذنبات، وتظل لذلك آثار من ندوب تبقى شاهدا على ما حدث. وهناك اقتراحات طرحها بعض العلماء بأن انقراض الديناصورات نهايات العصور الجيولوجية قد تكون شواهد على اصطدامات أحدثت كوارث في الماضي. ترى كم من الزمن يمكن أن يمر قبل أن تسقط صخرة أخرى خارجة عن جماعتها، أو صخرة من الضخامة بما يكفي لتدمير منطقة واسعة تشمل منشآت للطاقة النووية؟ لقد أعطتنا كارثة



شكل(١-١) أجنحة نهاية الكون

تشيرنوبل عام 1986 لمحة مما يمكن أن يحدثه هذا الخطر الإضافي من تدمير للبيئة.

فإذا لم يتم فناؤنا على أيدي غزاة من خارج الأرض، أو بأيدينا نحن أنفسنا، فإن استمرار بقائنا سيتطلب أن تبقى الشمس مستقرة وبلا تغيير بمثل ما تبدو عليه الآن. والواقع أن الشمس ليست بهذا الثبات الذي يظنه الكثيرون. فنحن نعلم الكثير الآن عن طريقة عمل الشمس بل وأصبح بإمكاننا أن نمعن النظر بداخلها لنسبر قلبها النووي الحراري؟ كما أصبح

واضحا بالنسبة لنا أن هناك أشياء غريبة تدور في ذلك النجم الهائل الذي لم نفهمه حتى الآن بعد. وفي الجزء الثاني من هذا الكتاب، سوف أركز على علاقتنا بالشمس وأصف كيف أننا نفهم جيدا، وكيف نحاول حل الأحاجي التي تم كشفها حديثا.

إن الشمس هي أقرب نجم لنا، ولكنها نجم واحد فحسب من بلايين النجوم في مجرتنا، ومجرتنا بدورها هي مجرة واحدة من عدد لا يحصى من الجزر المماثلة في الفضاء. وفي الجزء الثالث من هذا الكتاب سأصف كيف يمكن لهذه النجوم القصية أن تؤثر فينا.

في الوقت الذي ندور فيه حول الشمس، فإن الشمس تجرنا أيضا في دورة هائلة حول مجرة درب التبانة. وليس كل مكان في لطف المكان الذي نوجد فيه حاليا. فسوف نلاقي سحبا من غبار يمكن أن تؤثر في التوازن المناخي، وربما اقتربنا أكثر مما ينبغي من نجوم أخرى يمكن أن تثير الاضطراب في مدارنا فتخرجنا من النطاق الذي يجعل الحياة مريحة بل وربما رمت بنا إلى خارج المنظومة الشمسية كلها.

كذلك ليست كل النجوم مستقرة مثل شمسنا. فالنجوم يمكن أن تنفجر، وهذا ما يعرف بالسوبرنوفا. وفي عام 1987 نصع أحدها كما تنصع مجرة بأسرها في السماوات الجنوبية. وقد وقع هذا الحدث إلجائك منذ ما يقرب من 170 ألف سنة، ولكنه وقع على مسافة بعيدة جدا بحيث لم تصلنا أخباره إلا في العام المذكور. كما أنه كان بعيدا جدا بحيث لم يسبب لنا أي ضرر، ولكن لو حدث انفجار «سوبرنوفا» قريبا منا فسوف يمزق جوّنا بددا.

أما في الجزء الرابع فسوت ننظر إلى الكون ككل ونقيّم مستقبله. ومن خلال إعادة تصوير نوع الظروف الموجودة في أولى لحظات «الانفجار الكبير»، سنلم بما حدث عند بدء الكون ونكون تصورا عن الطريقة التي قد ينتهي بها الكون كله: هل سيتمدد ويبرد؟ أم أنه بدلا من ذلك سيتقلص ويشوينا؟

وسوف نلقي نظرة أيضا على تكوين المادة، أي الخامة التي يبدو أن كل شيء في الكون المعروف لنا قد صنع منها. فنتخيل حالة التآكل المطلق حيث كل شيء على مدى البصر بما في ذلك ذرات أجسادنا ينهار في التو، أو

يتبدل إلى شكل ما جديد. ورغم أن هذا قد يبدو عجيبا فإن الاكتشافات الحديثة في فيزياء الجسيمات توضح أنه احتمال ممكن. كما أن هناك بعض الإشارات إلى احتمال وجود «مادة غريبة» أكثر استقرارا منا نحن، ويمكن لها أن تدمرنا، نحن والأرض وكل شيء، إذا وصلت إلينا هنا بالتركيز الكافي. بل وهناك أيضا شواهد لا يستهان بها توحي بان بنية الفضاء نفسه قد تكون غير مستقرة، وأن الكون كله قد ينزلق إلى الهاوية لو حدث لسوء الحظ تصادم مفجر في أحد مواضعه.

إن هذه الأفكار جديدة تماما، وما كنا لنستطيع تصورها تصورا جديا حتى قبل عشر سنوات. وهي على الأقل تجعلنا نعيد تفحص موقعنا داخل الكون، ونعيد التفكير فيما افترضناه من أنه سيكون دائما كما هو الآن.

إننا نعيش مرحلة حرجة من التاريخ. وفيما مض كانت الشعوب البدائية تخشى العواصف والليل وتحيا بالخرافات. ثم جاء العلم ليعقلن الأشياء ويخلق لها نظاما، ووصل بنا إلى مرحلة تمكنا معها من إنشاء نظريات عن بدء الكون واختبارها في المعمل. وأخذنا نحس بقدرة غير محدودة. وتنبهنا إلى أن ثمة مخاطر من خلق الإنسان-كالأسلحة الذرية، وصنوف الجراثيم المبيدة-يمكن أن تمسح وجودنا من فوق وجه الأرض، أما الكون فإنه يستمر أبدا.

على أننا لسنا جد واثقين من ذلك. فقد أصبحنا على وعي متزايد بنقط الضعف التي تجعلنا معرضين للخطر، إلا أننا لم نفعل حتى الآن إلا أقل القليل بهذا الشأن. ولربما أمكننا بالتخطيط أن نفريوما من الأرض لنستعمر الفضاء.

فرغم كل شيء ها هو الطيران عبر المحيط قد أصبح أمرا شائعا بعد أن كان يعد حلما في زمن كولومبوس. إن بعض العلماء يؤمنون بالمبدأ الإنساني ؟ أي أن ظهور البشرية على الأرض كان أمرا غير قابل للاحتمال بحيث يبدو وكأن الطبيعة قد تآمرت خصيصا لإحداثه. ويرى هؤلاء العلماء أن هناك علامات على أن الكون قد تم خلق الحياة فيه لتكون وسيلته إلى الخلود. وفي حدود معرفتنا فإننا نحن حاملو هذه المهمة. فإذا أمكننا تجنب الانقراض على المدى القصير، سواء كان انقراضا نحدثه نحن في أنفسنا أو يحدث لأسباب خارجية، لو تجنبنا هذا فلربما تكاثرنا في الفضاء

إلى مستقبل غير محدود. ولعلنا سنكون عندها مشابهين قليلا لما نحن عليه الآن من لحم وعظام: ففي مجرد بليون سنة تطورت جزيئات بدائية إلى كائنات بشرية تستطيع تأمل الكون الذي تعيش فيه، فما الذي سوف تؤدي إليه بليون سنة أخرى؟ وأنا وأنت لم نمتلك حق الحياة، بل ورثناها بالمصادفة. والآن وما دمنا قد وجدنا فيها فإن علينا مهمة القيام بالجزء الواجب علينا في مراحل تقدم الجنس البشري الهائلة. وإذا كان للكون أن يتجنب الفناء النهائي، فإن الحياة-ولعل هذا يعني حياتنا نحن هنا على الأرض-يجب أن تستمر. ولو استطعنا أن نتعلم كيف نعيش رغم إمكان الدمار النووي فسيكون علينا إذن أن نعالج تهديدات الفناء من المخاطر الطبيعية. وسوف أنهي الكتاب ببعض الأفكار التي تنبثق الآن عن كيفية التعامل مع هذه المخاطر، وعما يمكن أن يكون عليه مستقبل الحياة على المدى البعيد. وحتى أبين للعلن أن هذه ليست مجرد تأملات كسولة، سأبدأ بمثال لكارثة قريبة وقعت في هذا القرن.

الجزء الأول
فناؤنا الخلفي

2 لقاءات كونية عن قرب

فيما وراء جبال الأورال، إلى الشرق من موسكو بألف ميل، تقع منطقة واسعة لم تمس من المستنقعات والأنهار والغابات. وهي تمتد من البحر المتجمد شمالا إلى منغوليا جنوبا، ومن جبال الأورال إلى منشوريا، وهذه المنطقة التي يندر فيها السكان تفوق مساحتها مساحة كل غرب أوروبا، وهي غير معروفة للأغراب عنها فيما عدا قلة محدودة، وليس فيها إلا طرق قليلة ومدن أقل عددا، وفي معظم السنة يكون كل شيء فيها متدثرا بغطاء من الثلج. ولقد حدثت أمور غريبة في تلك المنطقة ومرت سنون عديدة قبل أن يسمع العالم عنها.

في القلب القصي من هذه القارة الموحشة يقع الوادي المكنون لنهر تنجوسكا. وها هنا يتراجع الثلج لأسابيع معدودة أثناء الصيف وترعى الرنة فيما بين أشجار الصنوبر التي لا نهاية لها. وداخل هذا المشهد الآمن، حدث ذات صباح من يونيو 1908 أن انفجر أحد المذنبات الآتية من الفضاء الخارجي، وفي لحظة تم إفناء حيوانات الرنة والأشجار في دائرة من ثلاثين ميلا. وانفجرت كرة من الثلج مليئة بالحصى يبلغ وزنها عشرة أطنان، وقطرها أطول من ملعب كرة قدم، انفجرت في الجو بقوة انفجار

تماثل عدة قنابل هيدروجينية، وأرسلت موجات تصادمية حول العالم كله. وألقت كمية من الغبار في طبقة الإستراتوسفير(*) بلغ من كثرتها أن استطارت ضوء الشمس من الناحية المضيئة من الكرة الأرضية ليدور مباشرة إلى ظل الأرض. وفي لندن، على بعد ما يقرب من ربع المسافة حول الأرض، أي على بعد 6 آلاف ميل، أصبحت سماء منتصف الليل مضيئة مثل المساء المبكر. وأدرك كل إنسان أن ثمة شيئا غريبا قد حدث، ولكن ما هو، وأين حدث؟

وحتى اليوم، وبعد ثمانين عاما من وقوع هذا الحدث، لم يقم بزيارة المنطقة المدمرة إلا عدد محدود جدا من الغرباء. فلكي نرى ندوب الجراح هذه لا بد من القيام برحلة هائلة. وينبغي أن تختار بحرص الزمن الذي تبدأ فيه الرحلة بحيث تصل إلى الموقع وتعود ثانية أثناء الصيف. ويمكنك أن تبدأ الرحلة من موسكو في نهاية أبريل مستخدما خط طيران داخليا يتجه شرقا. وإذ ترتفع الطائرة مرتجفة إلى السماء يمكنك أن تطل على الأرض لتحظى بمشهدها وكأنك تطل من صاروخ. وليس في المكان سوى بيوت قليلة متناثرة، وحتى هذه سرعان ما تختفي لتحل مكانها غابات متصلة. وليس ما يدل على أن هناك بشرا يعيشون فوق هذا الكوكب سوى وجود شريط السكة الحديدية الذي يمر عبر سيبيريا.

وعندما تصل إلى آسيا الوسطى سيكون عليك أن تترك الرفاهية النسبية لخطوط إيروفلوت الجوية لتنتقل إلى طائرة صغيرة من أجل رحلة شاقة فوق الجبال.. وربما اضطر طيارك إلى أن ينتظر لما يصل إلى أسبوعين حتى يصفو الجو بما يناسب أي طيران. وحتى بعد هذا فإن أقرب مسار جوي لا يزال يبعد بأميال كثيرة عن الموقع وبالتالي ينبغي عليك أن تستكمل الرحلة على الأقدام. وعليك أن تنظم مع طيارك أن يسقط الطعام بالبراشوت في مواقع على الطريق. وتندفع المياه البيضاء من خلال مضايق ووديان ضيقة منحدرة، وتتشبث الأشجار بأسطح صخرية شديدة الانحدار.. ويستغرق عبور المنطقة ثلاثة أسابيع إذا كان الصيف جافا، أما إذا كان الربيع مطيرا، فإن الأنهار تفيض، وربما استغرقت الرحلة إلى داخل المنطقة قرابة شهرين (دع عنك رحلة العودة). بل وحتى في المناطق المنبسطة لن

(*) Stratosphre الاستراتوسفير طبقة الجو العليا التي تعلو التروبوسفير، وتمتد من 11 أو17 كيلومترا إلى نحو 55 كيلو مترا فوق سطح البحر.

تكون الرحلة سهلة. فهناك تمتد مستنقعات واسعة حيث البعوض لا ينقطع.. وأخيرا تصل إلى واد تملؤه الأشجار-وادي نهر تنجوسكا. وقد سمي النهر على اسم شعب التنجوس، وهم مجموعة عرقية صغيرة تعيش على اصطياد الدببة والغزلان في الغابات. وهم الذين رأوا ذلك اليوم الفاجع عام 1908 ثم رووا فيما بعد ما حدث فيه.

وكان أول عالم وصل هو العالم التشيكوسلوفاكي ليونيد كوليك وذلك في 1927. وعند النقطة التي تقع مباشرة أسفل الانفجار رأى هذا العالم واديا طينيا واسعا وكأن آلاف البولدوزرات قد محت الغابات لتعد لإرساء أساسات مدينة في حجم لندن. ومن حول هذا المشهد من الأرض الجرداء كانت هناك حلقة من بقايا أشجار متفحمة. وفيما وراء ذلك كانت الأشجار ترقد مبعثرة كأعواد الثقاب، وقد أسقطها إعصار صاخب، هو موجة انفجار المذنب المتفجر. لقد تم تدمير الحياة بالكلية، وظل الأمر هكذا لأكثر من ربع القرن.

إن القفر الموحش في هذا الموقع يوائم تماما المتاعب الرهيبة التي يعانيها المرء في الوصول إليه. وهذا البعد القصي للمكان هو الذي أخفاه عن العالم، ليتركنا ونحن مرتاحون في جهلنا بقوى هذا الغزو الكوني. وليست هذه هي المرة الأولى التي يصل فيها غزو خاطف من الفضاء الخارجي، كما أنها ليست فيما يحتمل المرة الأخيرة، بل هو أحدث غزو فحسب.

وتبين صور سفن الفضاء كوكب الأرض كجوهرة زرقاء إزاء خلفية من المخمل الأسود لفضاء يبدو خاويا. لكن هذه الصورة لأرض صلبة تندفع خلال خواء خال هي صورة خادعة. فنحن في رحلتنا حول الشمس-وهي رحلة تقطع نصف بليون ميل في ثلاثين مليون ثانية-نكون مصحوبين بما يزيد على ستة من الكواكب الأخرى، وبأقمار مختلفة، وكويكبات، ومذنبات، وبالغبار البركاني والغاز، والإشعاع النووي، وجسيمات النيوترينو، والرياح الشمسية، وغير ذلك من عجيب القطع والفتات، وكل هذه الأشياء محددة تماما برحلتها الخاصة بها، ومساراتها تتشابك وتتقاطع ونحن في كل ثانية نندفع عبر 20 ميلا من الفضاء، وإذا كان هناك أي شيء ينتظرنا من قبل أو يتجه إلى البقعة نفسها فسوف نصطدم به.

إن الأرض معرضة لخطر التصادم في كل لحظة. وثمة ما يقرب من ألف طن من الحطام من خارج الأرض ترتطم كل يوم بطبقات الجو العليا. ومعظم هذه القطع تبلغ من الصغر أن الجو يحرقها لتتحول إلى رماد مخلفة الذيول المألوفة التي تعرف بالنجوم ذات الذيل. ولكن من الممكن في مدى زمني يبلغ ملايين السنين أن يحدث أن ترتطم بنا أشياء أكبر كثيرا من ذلك، وسيتواصل حدوث ذلك مرة في كل حين.

فالأشياء في حالة حركة دائمة من حولنا في واقع الأمر، وثمة علامات على ذلك يمكن رؤيتها. فلتخرج إلى الخلاء ذات ليلة صافية ولترفع بصرك إلى السماء. سوف يصل إلى بصرك قمر صناعي من صنع الإنسان: فأشعة الشمس تتعلق به وتجعله مرئيا، فيسطع لدقائق معدودة، وهو يدور حول الكرة الأرضية، ثم ما يلبث نجم ذو ذيل أن يندفع فجأة مخلفا ذيله عبر السماء، وما إن تدرك وجوده حتى يختفي.

هذان المنظران هما مما يحتمل جد الاحتمال أن تراهما إذا نظرت إلى السماء لمدة ساعة في ليلة صافية بعيدا عن أضواء المدينة. وأحيانا قد يظهر مذنب (مثل المذنب هالي في 1986) ويظل مرئيا بالعين المجردة لعدة أسابيع بأكملها. وإذا كنت تعيش في أقصى الشمال فقد يسعدك الحظ بأن ترى عرضا لوابل كوني، مثل الشفق القطبي الشمالي.

مخاطر من صنع الإنسان

بلغ عدد الأقمار التي صنعها الإنسان حتى الآن عدة آلاف، كما أن هناك أقمارا صناعية كثيرة غير مسجلة تستخدم لأغراض عسكرية، وكل هذه الأقمار تدور في السماء. وفضلا عن ذلك هناك الكثير من «الخردة» محركات صواريخ خامدة، ومفاتيح ربط كان يستخدمها رواد الفضاء، وأجزاء هوت منفصلة عن الأقمار الصناعية. وتقوم الطبقة الجوية الرقيقة بكبح سرعة هذه الأشياء تدريجيا، وهي لا تلبث أن تتهاوى في النهاية، لتحترق عادة أثناء ذلك. وأحيانا يحدث خطأ ما، فإذا بأحد الأقمار الصناعية يقوم برحلة عودة قبل الأوان بما هو غير متوقع. والمناسبات التي من هذا النوع تجد فيها وسائل الإعلام العالمية خبرا مثيرا لمدة يوم أو يومين، في الوقت الذي يواصل فيه العلماء تحديد آخر ما يتوقعونه فيما يتعلق بموقع هبوط

هذا القمر، أما العاملون في العلاقات العامة فإنهم يؤكدون لنا بكل حبور أن مصدر القوى النووية في القمر الصناعي لا يشكل أي تهديد حقيقي. وفي النهاية لا يلبث القمر أن يغوص في مكان قصي. وحسب قوانين الاحتمالات فإنه يصبح من غير المرجح إلى حد بعيد جدا أن شيئا يهبط من السماء عشوائيا ينتهي به الأمر إلى الهبوط فوق إحدى المدن. فكما نتذكر من رحلتنا إلى منطقة تنجوسكا القصية، فإنه وإن كان العالم يبدو لنا مزدحما بالسكان إلا أن مساحة «المنطقة غير المأهولة» تفوق بصورة هائلة مساحة المنطقة المأهولة.

وهذه المخاطر التي صنعها الإنسان يكون فيها أحيانا ما يثير الانزعاج والارتباك، ولكن الأمر لا يتعدى ذلك إلا نادرا. أما «خردة» الطبيعة التي ترتطم بالأرض باستمرار فعددها يفوق إلى حد بالغ تلك المخاطر التي يصنعها الإنسان.

خردة الطبيعة

أصغر أنواع هذه الخردة هو تلك القطع من الذرات التي تسقط كالمطر على طبقات الجو العليا.

وهي تنتج عن عمليات عنيفة تحدث في أعماق الفضاء، مثلما هي الحال عندما تنفجر النجوم. وتقذف قوى عنيفة هذه الأجزاء في الفضاء حيث يقع بعضها، نتيجة لاقترابه كثيرا من الأرض، في مصيدة الأقطاب المغناطيسية لكوكبنا فتنجذب إليه.

وقد أرسل العلماء بالونات إلى طبقات الجو العليا لتلاقي هذه الأشعة الكونية وتم تسجيل صور لها. وقد أمدتنا هذه الصور ببعض من أول الإشارات عن مدى قوة الطاقة الكامنة داخل النواة، والكثير من العلم النووي الحديث قد نشأ عن هذه الاكتشافات المبكرة. والقوى النووية قوى هائلة، فالجسيم الذري الواحد داخل شعاع كوني قد يحتوي على قدر من الطاقة يكفي لرفع إنسان لثلاثة سنتيمترات فوق الأرض.

وعندما تصطدم هذه الأشعة بطبقات الجو العليا تتبدد طاقتها حيث تقوم بتمزيق الذرات في الهواء فتنتج وابلا من جسيمات تحت ذرية هي أقل قوة. وتصل هذه في النهاية إلى الأرض كمطر لطيف، هو مما يهتم بأمره

العلماء ولكنه ليس بخطر حقيقي على البشر، وإن كان التعرض له لزمن طويل على المرتفعات العالية، أو بالطيران على ارتفاع كبير، يزيد بسرعة من احتمال الإصابة بسرطان الجلد الناشئ عن هذا الإشعاع.

والشفق القطبي لا يراه الناس إلا عند خطوط العرض التي في أقصى الشمال أو أقصى الجنوب بالقرب من قطبي الأرض المغناطيسيين. وحتى إذا كنت لم تر هذا المشهد، فلعلك في وقت أو آخر رأيت نتائج اصطدامات أكبر نوعا آتية من خارج الأرض، إذ تصطدم بطبقات الجو العليا. والشهب هي قطع من الغبار ناجمة عن مذنبات ماتت في الفضاء. وفي كل مرة يندفع فيها مذنب تجاه الشمس فإنه يفقد بعضا من ثلجه. وشيئا فشيئا يتم ذوبان كل المادة اللاحمة التي تجعل الحص متماسكا، وهكذا تتطاير شظايا من الحجارة والصخر لتدور منفصلة حول المنظومة الشمسية بما يشبه حلقات زحل بمقياس أكبر.

وتنتشر الأحجار الصغيرة حول المدار كله مكونة أسطوانة طويلة من الحطام. وعندما تمر الأرض من خلال واحدة من هذه فإننا نخبر وابلا من الشهب. ويندفع كوكبنا تجاه الحجارة المفردة بسرعة 20 ميلا في الثمانية، وتشد الجاذبية هذه الحجارة إلى الأرض ويحرقها احتكاكها بالريح لتستعر مبيضة بالحرارة. وهذا هو الذي يسبب الذيل اللامع أو «النجم ذا الذيل».

ويمكنك أن ترى واحدا أو اثنين منها في أي ليلة صافية عندما يصطدم كوكبنا بالقطع العشوائية التي في الفضاء.

ونحن نمر من خلال إحدى «حلقات» الشمس عند النقطة نفسها عبر مدارنا السنوي، وفي تلك الليالي يمكنك أن ترى عشرات من الشهب كل ساعة.

ففي أغسطس من كل عام نمر من خلال إحدى تلك الأنابيب الأسطوانية من الحطام، وتكون النتيجة وابلا من الشهب يسمى وابل «برسيدس» Perseidse. وثمة حلقات أخرى من الحطام تحيط بالشمس، وعندما نلاقيها بصفة منتظمة كل عام، فإن غلافنا الجوي يحرق بعضها لينتج وابلا من الشهب.

على أنه يحدث أحيانا أن تصمد بعض الأجزاء الأكبر حجما وتسقط إلى الأرض، وهي ما نسميها بالنيازك.

النيازك: عملات صغيرة من السماء

سقوط أحجار من السماء ظاهرة سجلتها الكتابات الفلكية منذ آلاف السنين. وعلى حين تبقى المذنبات عادة عالية في السماء، ومرئية للجميع، فإن «النجوم» التي تهوي من السماء لا يراها إلا عدد محدود من الناس، على أنها يمكن أن تكون مثيرة للرعب تماما. إنها تمثل الذروة في عرض من «الصوت والضوء».

وفي أول الأمر تظهر كتلة متقدة في السماء، وهذا الذي نراه هو هواء مضغوط في الأمام زادت حرارته بفعل الاحتكاك مع حركة الصخرة، ويمكن أن يكون حجمه أكبر كثيرا من حجم الصخرة نفسها. وينصهر سطح الصخرة، ويتطاير الشرر من الذيل، وتظل ذيول الدخان زمنا طويلا بعد سقوط الصخرة. ثم إن الصخرة قد تتفسخ وتسقط قطع قاتمة لا ترى إلى الأرض بسرعة 200 متر في الثانية، أي بسرعة طائرة نفاثة عند انقضاضها بأنفها. وتحدث موجة صدمة لها قعقعة وأصداء «مثل صوت مدافع ترعد في معركة».

وقد حدث ذات صباح من عام 1972 أن اندفع نيزك عبر السماء عند جبال روكي، وكان ساطعا بما يكفي لأن يجعله يبدو ظاهرا في وضح النهار. والمشهد في هذه المناطق رائع الجمال يوفر خلفية مثالية لاستعراض الطبيعة لقوتها الرهيبة، مذكرة إيانا بالقوى البدائية التي شكلت كوكبنا. هيا نداوم التطلع. إن كرات النار هذه وإن كانت نادرة إلا أنها ليست نادرة للدرجة التي تتصورها، فكل أسبوع، في المتوسط، توجد كرة أو كرتان ناريتان في مكان ما من الأرض. كما يصل إلى الأرض يوميا ما بين 10- 25 من الكرات الأقل لمعانا.

وقد تتشكل النيازك من الحجر أو من كتل من الحديد. وهي تختلف بوجه عام من حيث تركيبها الكيميائي والمعدني عن صخور الأرض؟ ونتيجة لذلك فإن من السهل تعرّف نيزك فوق الأرض حتى ولو لم يكن أحد قد رآه لحظة سقوطه. وتبين اختبارات المعامل بعض السمات المشتركة التي تدل على أن بعض النيازك قد تكون أجزاء من جرم واحد كبير، لعله في حجم الأرض، ثم أصابه التفتت، وظلت بقاياه تدور للأبد حول الشمس. وتقول إحدى النظريات إن بعض الكويكبات قد تظهر نتيجة لتحطم أحد الكواكب

بعد اصطدامه بجرم كبير آخر. وإذا كان هذا حقيقيا فإنه يجعلنا نزداد انشغالا بفكرة أن الأرض قد يتم تدميرها على نحو مماثل.

ويمكن للنيازك الحديدية أن تقاوم صدمة الارتطام بالغلاف الجوي للأرض على حين تميل النيازك المجرية إلى التفتت. وإذا حدث الانفجار عند ارتفاعات عالية فإن الوابل قد يصبح هائلا. فخلال عام 1868 تهاوت في بولندا 100 ألف قطعة حجرية في وابل واحد. أما في 1912 فتهاوى في هولبروك بأريزونا وابل من 10 آلاف قطعة، على حين تهاوى وابل من آلاف عديدة في الاتحاد السوفييتي في عام 1947. وعندما يكون الوابل كبيرا فإن معظم القطع تكون أصغر من قنبلة عنقودية. كما يهبط الكثير من الغبار وقد يظهر كمسحوق أسود إذا سقط على أرض خلاء مغطاة بالثلج. وأكبر النيازك الحجرية المعروفة هي تلك التي تهاوت في وابل من مائة قطعة فوق كانساس في 1948، وتضمنت قطعة حجر مخيفة وزنها طن واحد. وثمة نيازك ضخمة أخرى مسجلة بما فيها نيزك وزنه يزيد على نصف طن في لونج أيلاند بنيويورك، وآخر وزنه ثلث طن في فنلندا، وآخر من وزن مشابه في تشيكوسلوفاكيا.

إن هذه القطع تمثل بالتأكيد أجزاء كبيرة من صخور ارتطمت بدرع الغلاف الجوي للأرض الذي يعلو رؤوسنا بعشرات الأميال. والواقع أنها تعد تافهة عند مقارنتها بقطع الحديد الأكثر ضخامة التي هوت إلى الأرض. وأضخم هذه القطع كلها والتي مازالت تشاهد على سطح الأرض تزن 60 طنا، أي وزن عشرة من آلهة الدمار، وهي تجثم حيث هوت في مزرعة بجنوب غرب أفريقيا. ويقدر من الحطام المحيط بالمنطقة أن هذه القطعة هي الجزء الأكبر من كتلة من الحديد كانت تزن 100 طن. وهذه القطع هي أكبر ما يعرف على الأرض، ولكن ليس هناك ما يسجل وصولها في الماضي السحيق. وفي وابل 1948 بالاتحاد السوفييتي شوهدت بالفعل قطعة واحدة وزنها طنان وهي تسقط إلى الأرض في عنف مذهل.

وتصطدم النيازك بالغلاف الجوي للأرض بسرعة تصل إلى 50 ميلا في الثانية، ثم ما تلبث مقاومة الهواء أن تقلل من سرعتها. ويعتمد مدى ما تحدثه من ضرر على كمية الطاقة الحركية المحتواة بداخلها. وعندما يتحرك شيئان كل منهما بنفس سرعة الآخر. فإن مقدار الطاقة في كل منهما

يتناسب مع كتلته، فإذا كانت كتلة أحدهما ضعف الآخر فإن طاقته تكون ضعف طاقة الآخر. وهكذا فعندما يتحرك حجر صغير بسرعة السيارة نفسها، فإن طاقته ستكون فحسب جزءا من المليون من طاقة السيارة، وبالتالي فإنه يحدث عند الاصطدام ضررا أقل بما يناسب طاقته.

كذلك يتوقف حجم الضرر على سرعة حركة النيازك. فإذا ما زادت السرعة إلى الضعف فإن الطاقة تزيد بأربعة أضعاف، وإذا زادت السرعة بثلاثة أمثال فان الطاقة تزيد بتسعة أمثال. وهكذا فإن قطعة حجر تتحرك بسرعة يمكن أن تصبح طاقتها مثل طاقة سيارة تسير ببطء. والحقيقة أن قطعة غبار لا تزن أكثر من ١ , 0 من الجرام وتتحرك بسرعة خمسين ميلا في الثانية سيكون لها من الطاقة ما يماثل سيارة وزنها طن واحد وتتحرك بسرعة خمسين ميلا في الساعة! والحجر الصغير الذي يزن جراما واحدا يرتطم بالجو ارتطامة تماثل تلك التي تنتج عن سيارة نقل مسرعة. وأضخم هذه الأحجار حجما تدخل بسرعة 50 «ماخ»[(*١)] إنها تلك القطع التي تختفي بعيدا داخل الأرض تاركة وراءها حفرة عميقة واسعة هي بمنزلة الندبة فوق سطح الأرض.

إننا محميون-هنا على الأرض، عند مستوى سطح البحر-بالغلاف الجوي للأرض، أما الفضاء الخارجي فحتى قطع الحصى الصغيرة يمكن أن تكون قاتلة. فالطاقة التي تنطلق لو اصطدمت قطعة حص صغيرة بسفينة فضاء يمكن أن تكون أكبر بآلاف المرات مما ينبعث من وزن مماثل من مادة الديناميت. كما يمكن لجسيم في حجم رأس الدبوس أن يحدث في جسم السفينة شقا يسرب الهواء، ويمكن لحصاة في حجم طرف الإصبع أن تدمر سفينة فضاء بأكملها. بل لقد طرحت فرضيات تقول إن ما يحدث أحيانا من دمار للطائرات على نحو تراجيدي في الارتفاعات العالية قد يكون ناجما عن الارتطام بنيزك يؤدي إلى تحطم زعنفة الذيل أو أي وحدة أخرى حساسة في الطائرة.

ولقد أدت المناظر والأصوات المرعبة التي تعلن عن وصول أحد النيازك من السماء إلى تولد قناعة عند الشعوب البدائية بأن الآلهة هي التي أرسلتها. ونتيجة لذلك أصبحت النيازك كنوزا تبجل في المعابد على أنها،

(*١) الماخ: سرعة الصوت في وسط مائع كالهواء مثلا، وهو الوسط المقصود هنا. (المترجم)

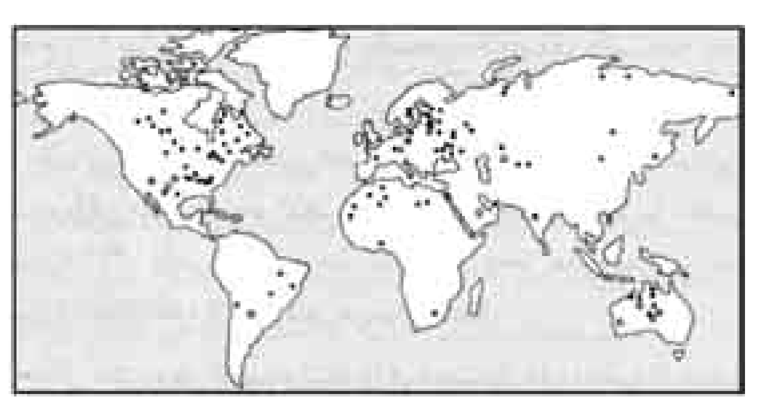
حرفيا، «هبة من الآلهة». وفي أعمال الرسل (إصحاح 19، الفقرة 35) نقرأ عن الأفيزيين الذين كانوا يعبدون ديانا وعن «رمزها الذي سقط من السماء». أما مكسمليان الأول ملك ألمانيا فقد انطلق إلى الحروب الصليبية وقد شجعه سقوط حجر قرب إنزيسهايم بالألزاس خلال عام 1492. ولا يزال هذا الحجر مستقرا في كنيسة القرية.

وعندما تنظر إلى «الآثار المقدسة للصليب» فإنك تشك في أمرها، وأنت على حق في ذلك. وقد ثارت شكوك مماثلة في القرن الثامن عشر بشأن المزاعم بامتلاك «أحجار قد سقطت من السماء». واتفق أهل العلم بقيادة الأكاديمية الفرنسية للعلوم على أن مثل هذه الظواهر غير المنتظمة إنما هي من المستحيلات. وأصبحت المزاعم بالحصول على نماذج من النيازك هي مما لا يصدق باعتبارها مجرد آثار باقية من عصر بائد تسوده الخرافات، وقام العديد من المتاحف الأوروبية بإلقاء هذه النماذج بعيدا عن معروضاتها.

ولم تصبح النيازك الصغيرة القادمة من السماء شيئا له احترامه إلا بعد أن سقط نيزك حديدي في النمسا عام 1751. وسمع عدة مئات من الأفراد صوت الرعد ورأوا كرة النار في السماء. وانتشرت الحكايات عن ذلك المشهد المرعب لليل انتشارا واسعا، ووجدت قطع من الحديد متناثرة حول المكان. ومع انشغال الناس بالتفكير في هذه الظاهرة فوق الطبيعية على نطاق واسع سرعان ما اهتمت بها الكنيسة وأخذ القسس يجرون المقابلات مع الشهود. وجمع رجال الدين شهادات تم قسم اليمين بصحتها وأرسلوها إلى الإمبراطور النمساوي. وأدى هذا بدوره إلى حث عالم الطبيعة الألماني أ. ف. شلارني على أن يدافع عن واقعية هذه الظاهرة وأخذ العلماء يهتمون بالأمر. وأصبحت النيازك شيئا «رسميا» عندما سقط وابل من الحجارة بالقرب من باريس في عام 1803. ولم يستطع علماء الأكاديمية الفرنسية المتشككون أن يتجاهلوا حدوث هذا الوابل في فنائهم الخلفي ذاته، وأخيرا وافق المجتمع العلمي كله على أن النيازك تسقط حقا من السماء. إن فكرة الكوارث الكونية هي فكرة جد شائعة في قصص الخيال العلمي وأفلام الكوارث. على أنه، وخلافا لبعض العروض الغريبة في هذا النوع من الفن، فإن سقوط صخور من السماء لتدمر مدنا كاملة ليس

مستحيلا. فهناك أدلة وافرة على وجود غزاة من صخور ضخمة كهذه. وتصل من الأقمار الصناعية المستخدمة للاستشعار من بعد صور للأرض تبين أن سطح الأرض فيه حفر تدل على ما حدث من اصطدامات.

وتنتشر على سطح الكرة الأرضية حفر اصطدامية معروفة يزيد حجمها على الكيلومتر المربع ويمكن رؤية ذلك من الخريطة (شكل ١ , 2). ويوجد من هذه الحفر ما يزيد على المائة حفرة، وتلك نسبة مئوية صغيرة فحسب من الإجمالي. فهناك مناطق واسعة في آسيا الوسطى وأفريقيا والبرازيل، حيث لم يسجل غير عدد محدود من هذه الحفر حتى الآن، استكشفت بدرجة أقل من المناطق الأخرى. وعندما تسقط النيازك في غابات أو في مناطق نشطة جيولوجيا، فإن كل أثر لها يختفي بما ينمو عليه أو يتم محوه بالأرض الحية. كما أن معظم سطح الأرض تغطيه المحيطات، وكل ما سيهبط هنا لن يكون له أي أثر (وإن كان ثمة تصور بأن البحر الكاريبي هو نتيجة لارتطام هائل حدث منذ عدة ملايين من السنين). وعلامات الارتطام لا تظل باقية بشكلها الأصلي إلا في المناطق الجافة غير المضطربة مثل صحراء أريزونا أو مناطق أستراليا الوسطى القاحلة ذات الحفر.



شكل (١ , 2) مواقع الحفر الأرضية: الدوائر المفرغة تدل على حفر عرضها أقل من اكم ومعها شظايا من النيازك وملامح للاصطدام. أما النقط فتدل على تكوينات أكبر وأقدم (عن ر. جريف، 1983).

وفي الركن الجنوبي الغربي من الولايات المتحدة تقع آلاف من الأميال المربعة من مفازة صحراوية جميلة. والهواء في هذه المنطقة جد ساكن

والشمس جد ساطعة حتى ليمكنك أن ترى الوادي الرمادي الذي جرفته الرياح ممتدا أمام البصر لأميال عديدة إزاء ستار خلفي من السماء التركوازية. وفي وسط هذا الخلاء المفتوح توجد ندبة مشوهة، حفرة هائلة تخلفت ذات يوم منذ 30 ألف سنة عندما سقطت من السماء كتلة صخرية في حجم ناقلة بترول، وارتطمت بالأرض وسرعتها أكبر من سرعة طائرة الكونكورد ثلاثين مرة. ونتج عن حرارة الارتطام أن تبخرت التربة وتصاعدت سحابة هائلة لتصل عاليا إلى الإستراتوسفير. وانهمرت من السحابة جلاميد أكبر من المنازل هبطت كالمطر لتزيد من حجم الدمار.

وظلت الهوة باقية بلا تآكل، تماما مثلما كانت ما أن استقر التراب منذ كل تلك السنين. وهي حفرة هائلة-يزيد اتساعها على الميل ويزيد محيطها على ثلاثة أميال-بحيث يسهل رؤيتها من الفضاء الخارجي، وهي تشبه جزءا من وجه الرجل الذي يبدو في القمر. والصور التي تلتقطها الأقمار الصناعية على ارتفاع 900 ميل تبين نهر كولورادو، والصحراء الشاسعة، وأثر ندبة وحيد حيث حط الجلمود.

وقد تبدو الحفرة من القمر الصناعي المخصص للتجسس وكأنها شيء تافه، ولكن هيا نهبط نحو الأرض لنراها في صورة ضوئية مقربة (الصورة الضوئية 1)[2*]. إن من الممكن إدخال مدينة لندن داخل هذه الحفرة، بل ولن يصل إلى حافة الحفرة إلا عدد قليل من مباني المدينة.

وتأتي حشود من السياح لينظروا في عجب إلى هذه الحفرة المرعبة في الصحراء. ويظن الكثيرون منهم أنها حفرة فريدة. ولكن واقعة تنجوسكا قد بينت لنا من قبل أنها ليست فريدة. فنحن لسنا وحدنا في هذا الفضاء ومن آن لآخر يهبط علينا زوار غير مرحب بهم: بلاء يصيب كل المحيطين به إذ يدق بابهم.

ولعلك تتساءل: ما أكبر ارتطام نجت الأرض بعده أو أكبر ارتطام يرجّح أن تتعرض له؟

ورغم أن عاديات الزمان قد غطت على معظم آثار الارتطامات بالأرض، فان العوالم الميتة الموجودة في الأماكن الأخرى من المنظومة الشمسية مازالت

(*2) انظر ملحق الصور الضوئية في نهاية الكتاب.

تحتفظ بسجل للاصطدامات هناك، وهو ما يعطينا فكرة عما يمكن أن تقوم به الطبيعة. وأقرب جار لنا هو القمر، ووجهه المليء بالندوب يبين ما كان يمكن أن تكون عليه الأرض لو لم يكن هناك غلاف جوي يحمينا. فبإمكاننا أن نرى حفرا هائلة فوق القمر ونحن على بعد 250 ألف ميل. ولنتخيل كيف تكون هذه الحفر على مستوى أرضية القمر وكيف تم تكوينها.

وتختلف حفر القمر في حجمها، فكثير منها أصغر من حجم قطعة العملة، على حين يزيد قطر ست منها على 100 ميل، أي في حجم جزيرة صقلية أو بطول لونج آيلاند. وقد نشا العديد من هذه الحفر عندما كان القمر لا يزال شابا والكواكب مازالت تتشكل. فالأجزاء التي بردت من هذه «الكواكب البدائية» الصغيرة أخذت ترتطم بالقمر وتترك آثارها عليه للأبد. على أن هذه الارتطامات لا يمكن التعويل عليها فيما يتعلق بتقدير درجة احتمال وقوع اصطدامات بالأرض حاليا. فما نحتاج إليه هو الدليل على أن هناك اصطدامات كبرى حدثت في الأزمنة الحديثة ومازالت تحدث.

عندما هبط رواد الفضاء بالسفينة أبوللو على سطح القمر تركوا هناك أربعة أجهزة لقياس زلازل القمر. وعندما قامت هذه الأجهزة بإعادة إرسال الإشارات للأرض، دهش العلماء المستمعون من أصوات النيازك الضخمة التي ترتطم بالقمر، وكان بعضها يبلغ قطره 10 أمتار.

ويختلف تدفق الإرتطامات على القمر خلال السنة، ويصل إلى ذروته عند وابلات الشهب المعروفة. وأكبر وابل يحدث عند نهاية شهر يونيو عندما نمر خلال مجرى شهب «توريد» Taurid. ونحن على الأرض لا نلحظ الكثير منها وذلك بفضل غطاء الهواء الذي يحيط بنا، أما القمر الذي لا هواء له فإنه يحمل آثار الندوب. وقد أدى ارتطام الحجارة بالقمر إلى أن سفعت الحفر القديمة بالرمال، فأنشأت تراب القمر الذي كان رواد الفضاء يضربون فيه بأقدامهم وهم يمشون على سطح القمر.

والقمر مكشاف جيد، وهو يعلمنا الكثير عما يجري «هناك في الخارج». فمن توزيع الاصطدامات-أي حجمها وتواترها-يمكننا أن نقدر ما هو العدد الموجود في هذا الحشد، (ونحن نأخذ فقط عينة تتكون من نسبة صغيرة)، ويصل العدد إلى ما يقرب من المليون. ويمكننا أيضا أن نحسب توزيع الأحجام المختلفة، وهكذا نقدر حجم أكبرها. فإذا كان هناك 10 آلاف حفرة

قطرها متر واحد، وألف حفرة قطرها 10 أمتار، فإنه يمكننا أن نكون واثقين إلى حد معقول من أن هناك حفرا عديدة قطرها 100 متر، وحفرا قليلة قطرها كيلومتر واحد، ولعل هناك حفرة واحدة قطرها عشرات الكيلومترات. والآن فإن الرقم «واحد» يمكن أن يكون صفرا أو يكون اثنين أو ثلاثة-فالإحصائيات عند أطراف التوزيع يكون عنصر المجازفة فيها أكبر. على أنه لن يكون هناك شك بالنسبة لسائر الحفر: فهناك حفر عديدة يزيد حجمها على ملعب كرة القدم. ونحن نعرف ما يمكن أن تحدثه ارتطامات من هذا النوع: ولدينا أمثلة على ذلك في حفرة أريزونا وواقعة تنجوسكا.

وهناك في وابل شهب «توريد» السنوي قطع كثيرة كان يمكن أن نحس بها لو أننا لاقيناها. وقد وجدنا في السنوات الأخيرة أن مجرى الشهب هذا فيه أجرام يبلغ عرضها 10 أميال. والارتطام بأجرام كهذه يمكن أن يهدد الحياة على الأرض ولكن هذه الارتطامات لحسن الحظ نادرة أقصى الندرة. والاحتمال الأكثر ورودا هو أن ترتطم بكوكبنا أجرام في حجم تلك التي سقطت في تنجوسكا.

ومع التكنولوجيا الحديثة توافرت لدينا القدرة على التفكير في فعل لمواجهة مثل هذا الخطر. ولكن ترى ما طول الزمن اللازم لكي نعد؟ وما الحجم المتوقع لغاز كهذا؟ العجيب في الأمر أننا لم ننجز في هذا الصدد إلا القليل. إننا مهرة في تأمل الكون بعمق ومع ذلك فنحن لا نعرف جيدا الجدول الزمني للحطام الذي يدور في فنائنا الخلفي.

إننا نحتمي حتى الآن بلعبة المصادفة. فالحفر التي بالقمر تمدنا بسجل لما وقع من ارتطامات عبر الدهور، وهو يوضح أن الارتطام الكبير، الذي يؤدي إلى حفرة تزيد على الميل، ينبغي أن يقع مرة واحدة كل عشرة آلاف عام في المتوسط، وكلما زاد حجمها قل احتمال وقوعها.

فلتفكر في كل ما يقع خلال ميل واحد من بيتك، ولتتخيل أن هذا كله قد تحطم. بل وحتى لو حدث ذلك في مجال من نصف الميل فإنه لا يكون أمرا هينا، والارتطامات التي من هذا الحجم هي مما ينبغي أن تكون الأكثر وقوعا. واحتمال أن يحدث أحدها في مكان مأهول لهو احتمال صغير، حيث إن مساحة الأرض هي في معظمها غير مسكونة. وواقعة تنجوسكا

مثل جيد على ذلك؛ فقد لاحظ الناس في مختلف أنحاء العالم حدوثها بما يشبه ملاحظتهم لثورة بركان كراكاتوا، ولكنها لم تؤثر تأثيرا مباشرا في عدد كبير من الناس. ولو كان الجسم الغازي أكبر حجما فلربما مزق قدرا أكبر من الغلاف الجوي، ولعل انقراض الديناصورات منذ 65 مليون سنة كان أحد الأمثلة لهذه الدرجة القصوى من الدمار.

إن الكون مكان عدواني وليس من موضع للاختباء من تأثيراته. فها هي أريزونا أصيبت بالأمس، وسيبيريا اليوم، فأين سيقع الحدث التالي؟

3 الجوار

عطارد، والزهرة، والأرض، والمريخ، والمشتري، وزحل، وأورانوس، وبلوتو، تسعة كواكب تدور حول الشمس في مواكب منتظمة. وهناك فضلا عن ذلك بلايين من أطنان الحطام الكوني تدور في الفضاء في حشود كبيرة. وقد هبط بعضها كوابل على الكواكب الأوغل في الفضاء مشوها إياها بالندوب مدى الحياة. ومازال الحطام ينهمر وتندفع المذنبات من أعماق الفضاء، وتهوي قادمة من أعماق السماء لتحترق كشهب، وتدور الكويكبات في مدارات تتقاطع مع مدارنا.

إن وزن الشمس يفوق وزن كل الكواكب مجتمعة، وجاذبيتها تمسك بالكواكب والمذنبات والكويكبات في مدارات مستمرة في رحلاتها تلك التي تظل تعاودها.

والكواكب التي تقع في أقصى الداخل هي مثل الأرض صغيرة، ولها أسطح من صخر صلب تخلف لبا من الحديد المصهور. ثم تأتي أربعة كواكب عملاقة تتألف من الهيدروجين والهليوم والأمونيا والميثان، وكلها صلبة متجمدة إلى حد الصلابة في أعماق الفضاء الباردة. ويزن المشتري أكثر من بقية الكواكب مجتمعة. وجاذبيته تصل إلى درجة من

القوة جعلت له منظومة أفلاك مصغرة خاصة به عرفنا منها ما يزيد على أثني عشر قمرا. كما اجتذب كل من زحل وأورانوس في فلكهما أقمارا عديدة وحلقات من صخور أصغر. أما نبتون فننتظر بشأنه نتائج سفينة الفضاء فوياجير التي أطلقت عام 1989، ونحن نتوقع أن نجد هناك أيضا منظومة مركبة من الأقمار. وفيما وراء الأربعة الكبار يقع بلوتو الضئيل الحجم الذي يكاد قمره تشارون يماثله في الحجم.

ورغم أن وزن المشتري يفوق وزن بقية الكواكب، فإنه يظل أخف ألف مرة من وزن الشمس، ومن هنا فإن جاذبية «الشمس» الهائلة هي التي تسيطر على المنظومة الشمسية.

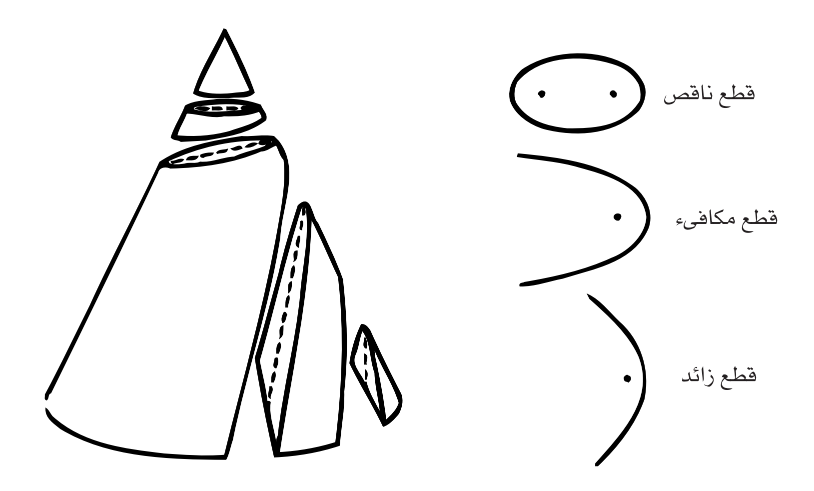
لقد طرح إسحق نيوتن قانونه عن الجاذبية عام 1687. ولم يكتف نيوتن بإيضاح أن التفاح يسقط فوق رؤوس الناس، بل أوضح أيضا أن الكواكب ممسوكة في أفلاك تدور فيها حول الشمس.

ونحن نعرف أننا آمنون منها؛ لأن نيوتن أوضح نوع المسارات التي يمكن أن تتبعها الكواكب التي تدور حول الشمس. فقانون نيوتن يدل على أنه إذا انجذب جسم ما إلى شيء ضخم (مثل الشمس) بقوة تضعف بنسبة طردية مع مربع المسافة، فإن الجسم يتحرك حسب واحد أو آخر من عدد من المسارات المعينة وتلك هي «القطاعات المخروطية» أي الأشكال التي تحصل عليها عندما تقطع مخروط الآيس كريم(*) (انظر الشكل 3-1)

وتسير الأرض والكواكب الرئيسية كلها في مدارات هي بالتقريب دائرية، ويظل كل منها بعيدا عن الآخر. وحتى نبتون وبلوتو اللذان يتقاطع مداراهما بالفعل فإنهما لا يتلاقيان أبدا في الوقت نفسه عند نقط التقاطع. وتسير الكويكبات في مدارات من قطع ناقص يتسم بالاستطالة، فتتقاطع مع مدارنا مرتين.

وتقع الشمس في بؤرة القطع الناقص (انظر شكل 3- 2)، خلافا للصورة المطبوعة على ورقة البنكنوت من فئة الجنيه الإسترليني والتي تبين الشمس في نقطة المركز. ومن الطريف أن نذكر أن نيوتن عمل ذات يوم رئيسا لدار سك النقود الملكية ببريطانيا. ومن الواضح أن خليفته في سبعينيات هذا

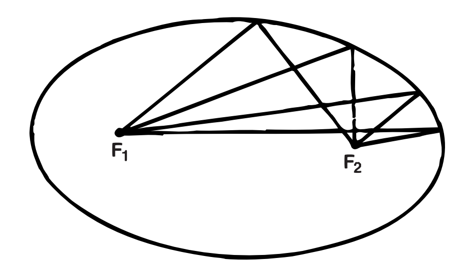
(*) المعنى الحرفي لتعبير Cream Cone هو الآيس كريم المعبأ في «بسكوتة» مخروطية الشكل، بدلا من ذلك المعبأ في علبة أسطوانية أو غيرها.



شكل (3- 1) القطاعات المخروطية: القطاع الأفقي يعطي دائرة، والقطاع المائل يعطي قطعا ناقصا فإذا كانت الشمس في بؤرة القطع الناقص (أي من النقطتين) فإن الكواكب تدور في مسارات من قطع ناقص. ولو قطعت المخروط في تواز مع أحد الجوانب تحصل على قطع مكافىء. وإذا كانت الشمس عند البؤرة منه فإن المسار يكون هو الخط الذي يذهب خارجا إلى اليسار للأبد - كما في حالة المذنب المنجذب الذي يتخذ مسارا واحدا لكنه واقع دائما في شرك جاذبية الشمس. أما إذا قطعت المخروط رأسيا فسوف تحصل على قطع زائد. وهذا هو المسار الذي يتبعه جرم ما إذا لم يقع في أسر الشمس بل ينحرف فحسب بوساطة جاذبية الشمس أثناء مروره.

القرن، والمسؤول عن التصميم، لم يكن ملّما بما يكفي بنظرية نيوتن عن الجاذبية ومدارات الكواكب حول الشمس.

أما المذنبات الدورية، مثل مذنب هالي، فتتبع مدارات من قطع ناقص ممطوط جدا في طوله. ويمكننا من دورة المذنب هالي التي تستغرق 76 عاما، ومن قانون نيوتن للجاذبية، أن نحسب مداره لنجد أن أبعد نقطة فيه تبعد عن الشمس بأكثر من بعد نبتون عنها. وهو يندفع للداخل، كما حدث عام 1986، قاطعا مدارنا مرة وهو في طريقه إلى الداخل كما حدث في نوفمبر 1985 ومرة وهو في طريقه إلى الخارج كما حدث في أبريل 1986، دون أن يلاقينا في المرتين، ثم لا يلبث أن يعود ثانية ذات يوم آخر.



شكل (3- 2) القطع الناقص: تقع الشمس عند بؤرة القطع الناقص. وهناك بؤرتان ب 1 و ب 2، والمسافة من ب 1 إلى ب 2 مروراً بحافة القطع هي دائماً المسافة نفسها. وحتى تصنع قطعاً ناقصاً تخير قطعة خيط دوبار مثبتة إلى الورق بدبوسين عند نقطتين بما يكفي لأن يكون قطعة الدوبار متهدلة. والآن شد قطعة الدوبار بإحكام باستخدام قلم، وأبقها مشدودة بإحكام، وارسم منحنى. سيكون الدبوسان عند البؤرتين ويكون المنحنى هو قطعاً ناقصاً.

وقد أدرك الناس منذ 300 سنة أن المذنبات يمكن أن تتحرك حول الشمس في قطع ناقص طوله ممطوط جدا أو تتخذ ممرا واحدا على قطع زائد. وفي الحالة الأولى فأنها تكون جزءا من المنظومة الشمسية، مثلها مثل الكواكب، لكنها تأتي من أماكن بعيدة جدا ولا تصبح مرئية إلا للزمن القصير الذي تقترب فيه من الشمس. وفي الحالة الثانية فإنها تصبح عابرة سبيل هائمة في الكون يحدث بالمصادفة أن تنحرف بجاذبية الشمس وهي في طريقها من ماض سحيق إلى مستقبل موحش. ومن بين المذنبات المعروفة البالغ عددها نحو 750 مذنب هناك 600 مذنب لها مدارات دورية من نوع القطع الناقص، أما الباقي، فهو مسافر لا يمر إلا مرة واحدة.

وسوف نقوم في الفصل الرابع بإلقاء نظرة على تلك المذنبات «الخوارج» التي تقطع مدارنا وتعرضنا للخطر.

أما هنا فسوف نركز على المذنبات التي لها مدارات تكاد تكون دائرية. وهذه المذنبات لا تفرض أي تهديد لكنها تثير اهتمامنا لأنها تمدنا بحفريات من آثار الاصطدامات الماضية توضح لنا ما حدث في الماضي وما يمكن أن يحدث ثانية.

قياس المنظومة الشمسية

القمر هو أقرب جيراننا في الفضاء. ويستطيع رواد الفضاء الوصول إليه خلال أسبوع واحد. وبإمكاننا قياس المسافة بين الأرض والقمر بارتداد أشعة الرادار أو الليزر عنه ومعرفة الزمن الذي تستغرقه عودة الإشارة- تستغرق الإشارة زمن ثلاث ضربات للقلب حتى تصل إلى القمر ثم تعود- وهي رحلة دائرية تقارب نصف المليون من الأميال. وتبلغ معرفتنا بسرعة الضوء، أو أشعة الرادار، درجة من الدقة تمكننا من قياس بعد القمر بدقة أكبر من دقتنا في قياس سمك هذا الكتاب. بل ويمكننا حتى أن نعرف أن القمر يرتد متراجعا عنا بسرعة تبلغ نحو 3 سم في كل عام، أو ثلاثة أمتار في كل قرن.

وهكذا فإن الأشياء لا تتحرك فحسب أحدها حول الآخر، بل وتتغير مداراتها أيضا. ويرفع القمر أمواج المد في البحار ويجهد صخور الأرض، وكنتيجة لقوى المد هذه فإنه يرتد إلى الوراء وإن كان مقيدا بنا بحيث يعرض لنا دائما الوجه نفسه. كذلك تبطئ الأرض بالتدريج، خلال رحلتها حول الشمس من سرعة دورانها حول نفسها؛ وهي في المستقبل البعيد سوف تعرض للشمس الوجه نفسه دائما. ويمكن للساعات الذرية أن تسجل هذا الإبطاء في دوران الأرض-وهو جزء من الثانية في كل سنة-وبالتالي فإن علينا بين وقت وآخر أن نضبط ساعاتنا الزمنية بإضافة ثانية لكل عام، فالزمن «يقف ساكنا» خلال تلك اللحظة. وعلى العكس، فإن الأرض فيما مضى كانت تدور بسرعة أكبر وهكذا كانت هناك أيام أكثر في السنة. وتبين السجلات الجيولوجية لما قبل التاريخ أنه منذ ملايين عديدة من السنين كان هناك 400 يوم في السنة. وهكذا فإن كل شيء يعاد تنظيمه عبر العصور-وهذه نغمة ستظل سائدة في حكايتنا.

وشعاع الرادار الذي يقيس المسافة من الأرض للقمر يمكن أيضا أن يصل للزهرة. وتبعد الزهرة، وهي أقرب جيراننا من الكواكب، عن الأرض بما يقرب من ثلاثين مليون ميل عند أقصى اقتراب لها منا.

والعلامة التالية في قياساتنا الكونية هي المسافة بيننا وبين الشمس. ونحن لا نستطيع أن نجعل أشعة الرادار ترتد لنا من الشمس، وهكذا فإن علينا أن نبدأ بمعرفة المسافة إلى الزهرة ثم نستخدم ذلك في عملية

القياس. وتدل نظرية نيوتن للجاذبية على أن الوقت الذي يستغرقه الدوران حول الشمس يعتمد على مسافة البعد عن الشمس وليس على الكتلة. (وحيث إن هذه النظرية تمكننا من التنبؤ بتوقيتات كسوف الشمس بما يقاس بالثواني فإننا لا نشك في أنها نظرية موثوق بها). فكلما كنت أبعد عن الشمس زادت حركة دورانك حولها بطئا (وإلا فإنك ستطير خارج المنظومة الشمسية مثل سيارة تحاول أن تدور حول زاوية بأسرع مما ينبغي)، ولأن عليك أن تتحرك أيضا في دائرة فإن الأمر يستغرق زمنا أطول. ولو أن بعدك عن جسم آخر زاد بأربعة أمثال، فتستغرق زمنا أطول بثمانية أمثال (وبصفة عامة، فإن الوقت الذي تستغرقه يتناسب مع المسافة مضروبة في الجذر التربيعي للمسافة، وهكذا فإنه في مثلنا تكون الأربعة مضروبة في اثنين لتساوي ثمانية).

وفي الزمن الحالي يبلغ طول سنة الزهرة 224 يوما من أيامنا، وهو ما يعني أن معدل المسافة من كوكبنا حتى الزهرة عندما يكون ذلك الكوكب في أقرب موقع منا هو ثلث المسافة من الأرض حتى الشمس. وقد بين لنا ارتداد الرادار كم تبعد الزهرة عنا وهكذا أصبح في إمكاننا أن نحسب بعد الشمس عنا. ولأننا نتحرك حول الشمس في مدار من قطع ناقص، لذا فإن المسافة لا تكون هي نفسها خلال العام كله بل يبلغ متوسط المسافة 93 مليون ميل. ولو أمكنك أن تطير إلى الشمس في طائرة كونكورد فإن رحلتك ستستغرق ما يقرب من اثنتي عشرة سنة، أما شعاع الضوء فيقطع المسافة فيما لا يزيد على ثماني دقائق.

قانون بود

المدارات شبه الدائرية للكواكب لها أبعاد تتلاءم مع قاعدة عددية بسيطة. وسوف نقارن المسافات الواقعة بين الشمس والكواكب مع المسافة من الشمس إلى الأرض. وللتبسيط سنعتبر أن الأرض تبعد عن الشمس بمقدار عشر وحدات. ومن ثم فإن المسافة بين كل من عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل وبين الشمس ستكون بالتقريب الشديد كما يلي: 4 و7 و15 و52 و95 وحدة مسافة على الترتيب.

وقد كانت تلك الكواكب هي الوحيدة المعروفة عام 1766 عندما لاحظ

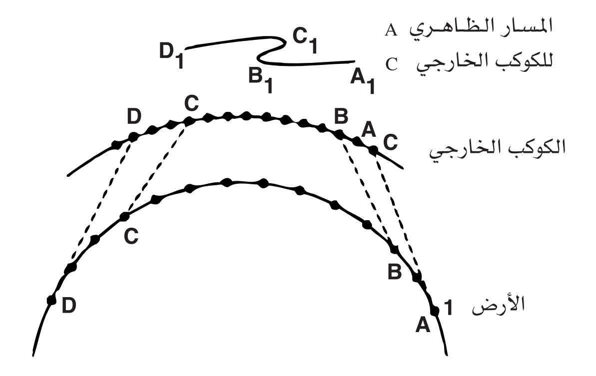
جوهان تيتيوس لأول مرة أن هذه الأرقام تصلح لتكوين سلسلة. فعند طرح الرقم 4 من كل منها فإن النواتج تصبح مشابهة لسلسلة يكون كل رقم تال فيها ضعف الرقم السابق: أي صفر، 3 ,6 ,12 ,24 ,48 ,96 ,192 وهكذا دواليك. ولو أنك أضفت 4 مرة أخرى لهذه السلسلة يصبح لديك 4 ,7 ,10 ,16 ,28 ,52 ,100 ,196. وهذه الأرقام فيها مشابهة قريبة جدا مع مسافات الأفلاك حتى المريخ. وهناك عضو مفقود عند الرقم 28، أما عند 52 فيوجد المشتري في المكان المحدد، ثم يأتي زحل الذي لا يبعد عن الرقم إلا بخمسة في المائة فقط.

وعندما خلف جوهان بود تيتيوس في مرصد برلين، نشر قاعدة تيتيوس ونال هو الفضل. وأصبحت هذه القاعدة الرقمية يشار إليها غالبا على أنها «قانون بود».

ولم يلتفت أحد كثيرا لهذا القانون حتى عام 1781 عندما اكتشفت كارولين ووليم هرتشل الكوكب أورانوس. وكان بعده عن الشمس هو 192 وحدة من هذه الوحدات نفسها. وكان ذلك إنجازا لافتا حيث إن قاعدة تيتيوس-بود تتنبأ ببعد 196. وقد أثار هذا الاتفاق الاهتمام لدرجة أن الفلكيين بدأوا يتساءلون عن صاحب رقم 28 المفقود.

وبدأت جماعة من علماء الفلك بقيادة البارون فون زاك في البحث عن الكوكب المفقود، جوزيبي بيازي مدير مرصد باليرمو في صقلية سبقهم إلى اكتشافه ففي 1 يناير من عام 1801 أي 1- 1- 1)، وهو تاريخ يسهل تذكره. كان جوزيبي ينظر إلى كوكبة الثور عندما رأى نجما صغيرا غير معروف. وكان يتحرك-لا، إنه لا يمكن أن يكون نجما! وظل يتتبعه طيلة شهر كامل وخلال هذا الوقت انعكست حركته (وهذه ظاهرة تنجم عن تخطي الأرض لجرم يدور حول الشمس على بعد أكبر بما نكون نحن: شكل 3- 3) وقد أسماه جوزيبي سيريز Ceres، على اسم القديس الراعي لصقلية.

ويبلغ حجم سيريز نحو خمس القمر. وبعده عن الشمس يتفق وقاعدة تيتيوس-بود، ولكن مداره ينحرف بعشر درجات عن المستوى الذي تدور فيه الكواكب الأخرى. وهكذا فإنه ليس مشابها تماما للكواكب الأخرى. وفوق ذلك فإنه صغير جدا. ولم يكن الناس مقتنعين تماما بأن تلك هي القصة كلها، وهكذا واصلوا البحث.



شكل (3- 3) الحركة المتراجعة: عندما تتجاوز الأرض بحركتها السريعة كوكباً آخر أبطأ وأكثر بعداً، فإن حركة الكوكب تبدو وكأنها غيرت اتجاهها في السماء. وعندها تكون الأرض والكوكب عند موضعي «A» على التعاقب فإن خط رؤية الكوكب هو الخط الذي يصل بين كلا الألفين، ويسقط هذا الخط على السماوات البعيدة عند (A) وتوضح النقط D,C,B والخطوط التي تصلها خطوط الرؤية المتعاقبة في الأوقات اللاحقة. وبين B,A تأتي الأرض من حول منعطف ويبدو الكوكب كما لو كان قد تجاوزنا (يتحرك يساراً عبر السماء). ومن B إلى C تلحق الأرض السريعة بالكوكب وتتجاوزه. وهو ما يجعل حركته الظاهرة تتراجع.

وفي مارس 1802 وصل أولبرز إلى اكتشاف بالاس Pallas، وهو كويكب سيار آخر ويشبه سيريز في حجمه ومداره. وسرعان ما تبع ذلك كويكبان آخران-جونو Juno وفستاء Vesta-حجم كل منهما يقارب ربع حجم سيريز واستنتج العلماء أن هذه الأجرام الضئيلة الحجم، والتي تقع كلها عند المسافة المتوسطة نفسها من الشمس وتتناسب جميعها مع رقم 28 المفقود في قاعدة بود، هي بقايا لجرم أكبر انفجر في الماضي السحيق، أو أنها كويكبات بدائية ولم يتح لها أن تتجمع في شكل كوكب.

وبحلول عام 1890 كان قد تم العثور على 300 منها. وكان ذلك عملا مضنيا يتطلب مسح السماء بعين تبحث عن أوجه شذوذ ما بين خريطة النجوم المعروفة. وفي 1891 بدأت الأبحاث الفوتوغرافية باستخدام تليسكوبات تدور متزامنة مع الأرض بحيث تبدو النجوم الثابتة كنقط في الصورة. أما الكواكب والكويكبات فتبدو كخطوط وهي تتحرك ببطء عبر

السماء. وفي خلال النصف الأول من هذا القرن تم اكتشاف 2000 منها بهذه الطريقة. ولا تمر سنة دون اكتشاف العديد من الكويكبات الجديدة. وليس من علامة على أن معدل سرعة المكتشفات سوف يقل، الأمر الذي يدل على أن هناك مئات عديدة مازالت تنتظر العثور عليها. وفي الأسابيع الأخيرة من 1986 أعاد العلماء اكتشاف واحد، منها كان قد ضاع أثره منذ عدة عقود.

لقد كان البحث عن كوكب أبعد من الأرض عن الشمس بما يوازي 8, 2 ضعف هو الذي أدى إلى اكتشاف الكويكبات. ومعظم هذه الكويكبات، وليست كلها، تلتف دائرة ما بين المريخ والمشتري. وتبلغ كتلتها كلها معا أقل من 1 على 2000 من كتلة الأرض، وتبلغ كتلة سيريز وحده نصف هذه الكتلة. ومن المرجح أن يكون حدوث ارتطامات ما بين الكويكبات الواحد بالآخر في هذا الحشد قد أدى إلى تحطم العديد منها. والكثير من الكويكبات له مدارات هي أقرب للقطع الناقص منها للدائرة والعديد منها يقطع مداره مسارنا. ولعل بعضها قد اصطدم بنا في الماضي.

اصطدامات في المنظومة الشمسية

أطلقت الولايات المتحدة ما بين 1962 و1975 سفينة الفضاء «مارينر» في سلسلة من الرحلات عرفت بمجسات «مارينر». وقد أمدتنا مارينر بأول مناظر عن قرب للمريخ والزهرة وعطارد، وفي ظروف الكوكب عطارد الخالي من الهواء تم العثور على دليل على الدمار الوشيك لكوكب بأكمله. فقد أرسلت مارينر لنا صورا لحوض كالوريس، وهو حفرة يبلغ عرضها 1000 ميل تقريبا. وعلى حين تمثل حفرة شهاب أريزونا بقعة في الصحراء، فإن حوض كالوريس يمكن أن يغطي مساحة أريزونا كلها ومعها قسم كبير من الولايات الست التي تغطي الركن الجنوبي الغربي لأمريكا (أي تقريبا ربع شبه القارة كلها) وبلغ من قوة موجات الصدمة أنها انتقلت مباشرة خلال الكوكب، مخلفة ممرات وتلالا على الجانب البعيد منه.

وفي 1977 أطلقت الولايات المتحدة سفينة الفضاء «فوياجير» في رحلتين أخريين، وقد أمدتنا مجسات فوياجير قريبة للكواكب الخارجية ومشارفها. وقد زارت حتى الآن المشتري (1979)، وزحل (1980) وأورانوس (1986).

ونحن نعرف من قبل أن زحل له حلقات جميلة، وقد بينت فوياجير أن المشتري وأورانوس لهما أيضا حلقات جميلة.

وهذه الكواكب الثلاثة الضخمة لها أقمار عديدة وقد كشفت صور فوياجير أن هذه الأقمار تحوي سجلا للاصطدامات عبر الدهور. والرسائل المطبوعة على أسطح هذه الأقمار تجعل بعض العلماء على الأرض يتفكرون. إن هذه العوالم الموحشة تحمل الشهادة على قوة الطبيعة. وهي قد جمعت هذه الشهادة واحتفظت بها لآلاف السنين، وظلت هكذا غير معروفة حتى ذلك اليوم الذي وصل فيه أول مجس للفضاء.

وتبين صور فوياجير لـ«كاليستو» وهو أحد أقمار المشتري الكثيرة، نتائج الاصطدامات العنيفة بتفصيل غير متوقع. وكاليستو يبلغ عرضه أكثر من 3 آلاف ميل، أي تقريبا نصف قطر الأرض، وسطحه كله مليء تماما بالحفر، ولا ينجو متر مربع فيه من ذلك. بل إنك لا تستطيع أن تحفر حفرة جديدة دون أن تهدم حفرة أخرى موجودة من قبل. لا بد من أن الصخور والجلاميد الهائلة قد ظلت تصطدم بكاليستو لملايين السنين.

وسطح كاليستو مزيج من الثلج والصخر، وكأنه قارة قطبية. وتنساب أنهار الجليد في حفر الشهب. وأكبر أماكن الاصطدام كانت تتميز أصلا بحفر هائلة وصخور عالية، لكنها الآن تمت تسويتها بحيث لم يبق إلا الجدران المحيطة. أما الحفر الأصغر فقد ظلت باقية في شكلها الأصلي إذ إن الثلج يمكنه أن يدعم جدار الحفر الصغيرة بصفة دائمة أما الحفر الكبيرة فتنهار.

وخلال هذا القفر المروع ثمة منظر رائع جميل لحلقات متعددة تتتالى كل حلقة حول الأخرى. فقد صنع اصطدام مذهل يعد فريدا حتى بالنسبة للاصطدامات المستمرة، لكاليستو حفرة عرضها 400 ميل، وأدى ذلك إلى ذوبان الثلج تحت السطح وانتشرت للخارج أمواج انفجار هائلة من المياه. وفي ظل درجة حرارة تصل الحد 180 تحت الصفر، تجمدت الأمواج في حلقات من جبال، تنتشر في محيط مساحة مقدارها 2000 ميل. ونحن نعرف أن هذا قد حدث في زمن حديث نسبيا لأنه لا توجد حفر في القاع، وهذه الحلقات المتداخلة قد انتشرت مرشوشة على الحفر الأكثر قدما والتي سوف تتناثر عليها ثانية في حينه حلقات أخرى.

ويعد ذلك خير مثال على القوة الهائلة الكامنة في الطبيعة، وفيه ما يذكرنا أيضا بضآلة أهميتنا. من كان يستطيع أن يتصور حقيقة وجود جبال متجمدة تمتد بما يصل إلى طول الولايات المتحدة، وقد تمركزت حول حفرة أكبر من ولاية كانساس؟ وإذا كان في هذا ما يبهرنا فإننا نأمل ألا يكون فيه دليل قوي على ما يحتمل أن يحدث لنا على الأرض. وكاليستو قريب من المشتري ذي الجاذبية الهائلة التي تشد الحطام إلى طبقة الإستراتوسفير عنده. وهكذا فإن أقماره يتناثر عليها وابل الصخور الطائرة إلى حد يفوق كثيرا ما كان سيحدث لها لو كانت قريبة من الأرض. فكاليستو يقع على الطريق الرئيسي الشمسي، أما الأرض فبعيدة عن هذا الطريق الرئيسي.

وبعد أن زارت فوياجير المناطق المحيطة بالمشتري اندفعت متعمقة لمسافة أبعد في الفضاء لتصل إلى زحل في عام 1980 حيث زودتنا بأول مناظر لأقماره ذات الحفر.

ويبلغ قطر أحد أقمار زحل، وهو ميماس 250 ميلا فحسب ومع ذلك فهو يحتوي على حفرة عمقها 7 أميال وعرضها 60 ميلا بالكامل. وحفرة كهذه حجمها ربع حجم القمر إنما تمثل اصطداما من نوع متطرف، ولو أن هذا الاصطدام كان أشد قليلا فربما أدى إلى تفتت ميماس. والحقيقة أنه يبدو أن ميماس ربما قد حدث فيه شق من خلاله مباشرة، حيث إن هناك تصدعات على الجانب البعيد منه مقابل الحفرة.

وفي هذا ما يذكر بالشق الموجود في عطارد، كما يبين أنه ليس الاصطدام الوحيد من نوعه، وأن هذا الحجم من الدمار ليس آخر المطاف فيما يتعلق بإمكانات الطبيعة على التدمير، إذ إن هناك اصطدامات أكثر عنفا حدثت لأقمار زحل-فأحدها قد انقسم إلى اثنين، وهذان النصفان مازالا يدوران وهما قمران لهما اسمان غير رومانسيين هما «إس 15» (S10) و«إس 11» (S11).

ويدور هذان القمران التوأمان حول زحل على مسافة 100 ألف ميل، إلا أن مساريهما يقع كل منهما في نطاق 30 ميلا من الآخر، أي ما يزيد قليلا على عرض القنال الإنجليزي، أو ما يقارب المسافة بين الطرف الشمالي والطرف الجنوبي لمدينة نيويورك ويبلغ عرض «إس 10» 150 ميلا بينما

يتميز «إس II» بشكل عجيب، فهو عبارة عن شظية طولها 50 ميلا وعرضها 20 ميلا، وهكذا فإن طوله في أحد الاتجاهين يبلغ ضعف الاتجاه الآخر. والطريقة الوحيدة التي يمكن بها للطبيعة أن تصنع شكلا غير منتظم هكذا هي أن تكون قد حطمت جرما أكبر.

وهذه الأقمار المتشاركة المدار ليست «بالضبط» في المسار نفسه، وهكذا فإنها تستغرق أوقاتا تتفاوت قليلا لتدور حول زحل. وبالتالي فإن الواحد منها لا بد أن يمر بالآخر كل فترة. والطريقة التي تتمكن بها من القيام بذلك مازالت سرا، حيث إن أحجامها أكبر من المسافة الفارقة بين مداراتها. ولكن الفلكيين يعتقدون الآن أن بعض الأجرام في المنظومة الشمسية تسلك-وبدلا من أن تدور في زمن دوري-مسلكا فوضويا. وفي 1987 بيّن جاك ويسدون، من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، أن أحد أقمار زحل المسمى هيبريون يتخبط الآن في حال فوضوية. وقد كان يظن فيما مض أن فوضى الأفلاك شيء مستحيل ديناميكيا، لكن الفلكيين يعتقدون الآن أن هذه الفوضى فيها الإجابة عن أسئلة شتى بشأن المنظومة الشمسية. فالأفلاك الفوضوية يمكن أن تفسر كيف تصل الكويكبات إلى الأرض في شكل شهب، وهي تضيف عنصرا جديدا وغير قابل للتنبؤ به علميا في مجال الأخطار المحتملة.

وقد أمضت فوياجير خمس السنوات التالية، من 1980-1985، وهي تواصل السفر من زحل إلى أورانوس. وأخيرا وفي 24 يناير 1986 أسرعت لتمر بأورانوس حيث وجدت مرة أخرى أدلتها من الحفر بل ومن الأقمار المفتتة. ومن المحتمل أن أورانوس نفسه قد انقلب بفعل اصطدام قديم، فبينما يوجد قطبا الأرض المغناطيسيين قريبا من محور دورانها، فإن قطبي أورانوس المغناطيسيين هما تقريبا عند خط استوائه، وهذا أمر فريد في المنظومة الشمسية.

وقد وجدت فوياجير أيضا مزيدا من الدلائل على الفوضى. فأحد أقمار أورانوس-وهو القمر «ميراندا» وقطره 300 ميل-له ملامح جيولوجية متفردة حيث به شقوق وممرات بيضاوية، ومن الواضح أنها نتيجة تخبطه وترنحه شاردا لملايين السنين في حركة فوضوية بدلا من الدوران على فترات يمكن التنبؤ بها.

وهناك عند أقصى الحدود الخارجية لمنظومة الكواكب الشمسية، حيث ستصل سفينة فوياجير ذات يوم، يقبع بلوتو ونبتون. (ستلاقي فوياجير نبتون، ولكن بلوتو سيكون وقتها عند الجانب البعيد من الشمس. وهكذا فإن فوياجير لن تلقاه هذه المرة). ونحن نميل إلى الاعتقاد بأن بلوتو هو الأكثر بعدا عن الشمس، ولكن الحقيقة هي أن هذين الكوكبين يتقاطع فلكاهما متصالبين ونبتون الأكثر بعدا في الوقت الحال. (وستظل الحال هكذا حتى مارس 1999 وعندها يعبر بلوتو للجانب الآخر ويعود للجانب الخارجي). على أنه لا وجود لخطر أن يتصادم هذان الكوكبان. ذلك أن مداريهما يستغرقان 165 عاما و 248 عاما على الترتيب بنسبة محكمة هي 2 إلى 3. وهكذا فعندما يدور بلوتو حول الشمس مرتين يكون نبتون قد دار ثلاث مرات. وعندما يكون نبتون عند نقطة عبور مكان التقاطع يكون بلوتو في مكان آخر. وعندما يصل بلوتو إلى نقطة التقاطع يكون نبتون قد تحرك إلى مكان ثان. ويستمر الأمر هكذا دورة بعد الأخرى. وهكذا فإن الكوكبين يظل كل منهما آمنا من الآخر.

وكان عالم الفلك الأمريكي الكبير بيرسي لويل هو الذي بدأ في البحث عن كوكب فيما وراء أورانوس ونبتون. وقد مات لويل عام 1916 ولم يتم العثور على بلوتو إلا عام 1930. وتم إعلان الاكتشاف في يوم ميلاد لويل، واتخذ شكل ♇[(1*)] رمزا للكوكب، وهي علامة تتألف من الحروف الأولى لاسم لويل وأول حرفين من اسم الكوكب.

وبلوتو أصغر حتى من قمرنا نحن. وفضلا عن ذلك فوزنه لا يتعدى ثلاثة أضعاف قمره الخاص به، وهو قمر يدعى تشارون (اكتشفه جيمس كريستي في 1978). ومن الصعب في ظل هذه المعطيات أن نفكر في بلوتو على أنه كوكب، والأحرى أنه وتشارون يشكلان زوجا من الكواكب يدور أحدهما حول الآخر في الوقت الذي يتحركان فيه معا حول الشمس.

وبلوتو هو كرة ثلجية زائدة النمو، بل وربما كان في الأصل قمرا تابعا فر من كوكب «أب» لعله يكون نبتون. وهناك عدة قرائن تدعم فكرة أنه قد حدث في وقت ما أن مر جرم من الخوارج بالقرب من نبتون وأوقع الفوضى

(1*) شكل ♇ يتألف من حرف P، L مدموجين معا. (المترجم)

في أقماره. وربما كان بلوتو واحدا منهم، اندفع خارجا وهو الآن يطير متقلبا للداخل والخارج من مسار نبتون، وكأنه يحاول أن يدور في فلك حول ذلك الكوكب في الوقت الذي يدور فيه الاثنان ببطء حول الشمس المركزية البعيدة. وذلك وضع فريد في المنظومة الشمسية كلها-فكل الكواكب الأخرى لها أفلاك يبتعد كل منها عن الآخرين بمسافات شاسعة.

ومن بين الأقمار الأخرى لنبتون تريتون، الذي يسلك مسلكا غريبا. فكل الأقمار الأخرى الدانية تدور حول الكوكب الأب في الاتجاه نفسه، مثلما يدور قمرنا حول الأرض، أما تريتون فيدور حول نبتون في الاتجاه المعاكس. وقمرنا أيضا نموذجي في تتبعه للمناطق الاستوائية متابعا الشمس عبر السماء، أما مسار تريتون فينحرف بعشرين درجة على خط استواء نبتون ويبدو الأمر وكأن قمرنا يحلق عاليا فوق رؤوسنا ثم يغطس تحت الأفق عندما نواجه الشمس.

وهناك أخيرا قمر آخر لنبتون هو «نيريد». ويتحرك هذا القمر بسرعة كبيرة حتى أن نبتون لا يمسك به إلا بالكاد. كما أنه لا يحافظ على مسافة بعده، فهو يأتي للداخل مقتربا ثم يتحرك مبتعدا لمسافة كبيرة في قطع ناقص ضيق. تخيل أن قمرنا-يقترب أحيانا ليملأ صفحة السماء، ثم لا يلبث أن يندفع مبتعدا ليصبح قرصا صغيرا بعيدا ثم يندفع مقتربا منا مرة أخرى. ذلك هو حال «نيريد» لمن يراه من سطح نبتون.

في عام 1979 كتب ر. هارنجتون و ت. فان فلادرن مقالا في مجلة علم الفلك «إيكاروس» يشرحان فيه الكيفية التي نشأت بها كل هذه الأفلاك. وقد طرحا في مقالة نظرية قابلة للاختبار من حيث إنها تتنبأ بأن هناك كوكبا عاشرا فيما وراء بلوتو بمسافة كبيرة.

لو أننا افترضنا أن نبتون كان له في الأصل أربعة أقمار تدور في أفلاك دائرية تقريبا، بما يشبه كثيرا أكبر أقمار المشتري، فإن كل ما نحتاج إليه بعد ذلك هو أن يكون كوكب حجمه ثلاثة أضاف حجم الأرض قد اندفع مخترقا منظومة الأقمار. هذا الكوكب المفترس سيأسر أول قمر داخلي ويحمله بعيدا إلى أعماق الفضاء، أما القمر الثاني من حيث القرب فسيهرب وينتهي به الأمر إلى مدار بعيد، وهذا القمر هو بلوتو. في حين ينقلب مدار القمر الثالث ليصبح القمر تريتون، بينما يتمكن القمر الرابع بالكاد من أن

يبقى دائرا في فلك حول نبتون وهذا هو القمر نيريد.

وليس هذا محض اختراع. فلو أنت بدأت بأربع مدارات دائرية معقولة، ثم درست تأثير جرم كبير يمر من خلالها، فإن هذه المدارات العجيبة ستنبثق طبيعيا. وهذا في واقع الأمر هو حال بلوتو وتريتون ونيريد الآن. ويتواصل البحث الآن عن الكوكب المفقود، أو الكوكب العاشر-الكوكب «إكس». ولعلنا سنجد عند الأطراف الخارجية البعيدة للمنظومة الشمسية أقصى الأمثلة تطرفا لما يمكن أن يحدث عندما تكون هناك «مواجهات» على مسافات جد قريبة.

ولو حدث للأرض مواجهات قريبة من هذا النوع، فسيكون فيها نهاية البشرية.

المشتري: ملك الكواكب

يتحمس المنجمون كثيرا لاقتران الكواكب في خط واحد. ورغم أن أكثر الناس لا يأخذون التنجيم كعلم مأخذ الجد مازال كثير من الناس يعتقدون أنه قد يكون هناك أساس فيزيائي لتنبؤاته، خاصة عندما تكون كل الكواكب في الجزء نفسه من السماء. ومن أمثلة ذلك أن أفرادا كثيرين اعتقدوا، عام 1982، أن قوى الجاذبية المتولدة من (الاقتران الكبير) للكواكب سوف تعمل بانسجام وتوفر ميكانيزما فيزيائيا يؤدي إلى انطلاق الزلازل أو غير ذلك من الكوارث. بل إن أحد المتصوفين تنبأ وقتها بنهاية العالم.

ورغم أن هذا قد يبدو للوهلة الأولى أمرا معقولا جدا، فإن الحقيقة أن كميات القوة هنا هي ببساطة ليست مما يتضايف معا. والجاذبية هي القوة الوحيدة التي تؤثر تأثيرا يمكن قياسه في حركة الكواكب وأقمارها. وقوة الجاذبية التي تعمل بين جسمين تتناسب مع كتلتيهما وتختلف عكسيا بالنسبة لمربع المسافة التي بينهما وبكلمات أخرى، تكون الجاذبية أكبر كلما زادت كتلة الأجسام وأضعف كلما تباعدت. ونحن واقعون تحت سيطرة الشمس لأنها صاحبة أكبر كتلة فيما حولنا، وكتلتها تزيد على كتلة سائر أجرام المنظومة الشمسية بخمسمائة مرة. وفي تباين مع ذلك فإن القمر خفيف الوزن ولكنه قريب منا جدا، وقربه هذا هو الذي يجعله يقوم بدور مهم.

وكل ما عدا ذلك بعيد عنا وتأثيره غير مهم، وكمثل على ذلك فإن

المشتري، وهو أكبر الكواكب، لا تتعدى كتلته 0,5 في المائة من كتلة الشمس وهو أبعد عنا بخمسة أمثال على الأقل.

إن حركة القمر حول الأرض تسبب حركة المد والجذر أثناء دوران القمر في فلكه. وقوة الجاذبية تضعف بالبعد، وبالتالي فإن حركة المد والجزر في المحيط الهادي تكون أقوى عندما يكون القمر فوق هاواي مباشرة عنها عندما ينعطف القمر بعيدا ليصبح فوق المحيط الأطلسي.

وبالمثل فإن دوران الكواكب يحدث المد في الشمس، مسببا نتوءات صغيرة في أعقابها. وتدور الكواكب الخارجية ببطء في فلكها، بينما تدور الكواكب الداخلية سريعا إلى حد ما. ونادرا ما يحدث أن تصبح الكواكب كلها في جانب واحد من الشمس وتتفق قوى شدها في انسجام. وقد لاحظ دعاة ما يسمى بـ «ظاهرة المشتري» أنه فيما بين 1977 و 1982 كانت الكواكب متجمعة عند الجانب الواحد نفسه من الشمس، وذهبوا إلى أن قوة الشد الجماعية للجاذبية يمكن أن تؤدي إلى مط سطح الشمس مسببة اضطرابات عظيمة عند سطحها.

وواقع الحال أننا هنا على الأرض نتأثر بالسلوك غير المستمر للشمس على نحو ربما يفوق كثيرا ما نتخيله. إن الشمس قد تبدو لنا كرة ساطعة نائية البعد عنا، إلا أن الكتلة الغازية غير المضيئة المحيطة بها تمتد إلى ما هو أبعد كثيرا من الأرض. إننا نبحر بالمعنى الحرفي للكلمة «داخل الشمس»! وبإمكان العواصف التي في الشمس المتوهجة أن تصل إلى مناطقها الخارجية وتثير الاضطراب بشكل مباشر في جو كوكبنا، وتحدث تداخلا في الاتصالات اللاسلكية وتؤثر في الطقس ويرى المؤمنون «بظاهرة المشتري» أن الشمس إذا حدث فيها اضطراب حقيقي، فإنها ستوقع فوضى شديدة في الطبقات العليا لجونا، وتحدث اختلالا في دوران الأرض. وسوف تسبب الرجة إجهادا لقشرة الأرض بما يسبب زلازل كارثية مع انهيار مواقعها.

وتبدو هذه الكوارث الدرامية أمرا قابلا للتصديق نتيجة للطابع المجازي بسبب من الصورة الموجودة لتلك العبارة الانفعالية «مط سطح الشمس». على أن الكواكب لا تفعل شيئا من ذلك، وتأثيرها بالغ الضآلة. والشمس تتذبذب طوال الوقت لأعلى وأسفل لأميال عديدة دون أن نشعر بذلك.

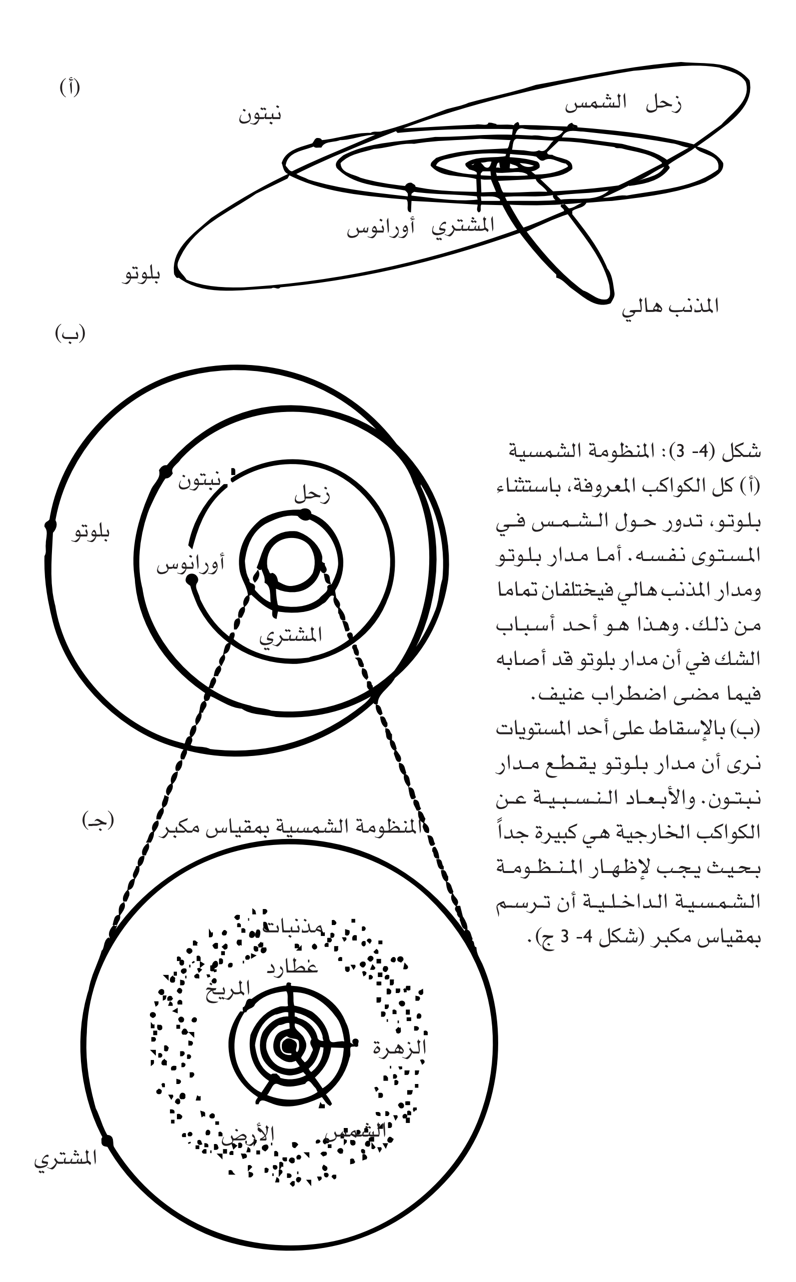
(الشمس المتوهجة يبلغ عرضها تقريبا «مليونا» واحدا من الأميال بحيث

إن هذه التذبذبات يمكن أن تقارن بمقياس نسبي مع موجات المد على الأرض). والتأثير الإضافي الناجم عن اقتران الكواكب في خط واحد يبلغ فحسب ما هو أقل من سمك هذا الكتاب. وهكذا فإن تأثير موجات المد الكوكبية في الشمس هو أضعف مليون مرة من موجات المد التي يحدثها القمر على الأرض.

والتغيرات التي تحدث في الشمس، مثلها مثل كل الحركات العشوائية، هي نتيجة قوى فاعلة، وهي في سياقنا الحالي قوة الجاذبية. ومن بين الأخطاء الشائعة في هذا الصدد الفكرة القائلة إن حركة الكواكب حول نقطة الارتكاز المشتركة تلعب دورا مهما. ويجادل أنصار تلك الفكرة الخاطئة بأنه عندما تكون الكواكب الخارجية العملاقة كلها في صف واحد. فإن مركز الشمس سيكون أبعد ما يكون عن مركز المنظومة الشمسية، وهكذا فإن الشمس سوف «تشد إلى الاتجاه المعاكس لتوازن التأثير المضاف للكواكب».

على أن نقطة الارتكاز لا تلعب أي دور في تحديد حجم القوى التي تؤثر في الشمس أو في أي مكان آخر. وعلينا أن نتذكر ذلك جيدا قبل أن نذهب بعيدا مع التنبؤات حول الكوارث التي تنشأ عن الكواكب «البعيدة». فالأطراف الخارجية للمنظومة الشمسية بعيدة بما لا يصدق. ومسافة الابتعاد عن الشمس تتضاعف على وجه التقريب مع كل كوكب متتال (ولنتذكر أرقام بود في بداية هذا الفصل) وهكذا فإن رحلة تحملك من الشمس إلى المشتري، مارة عبر عطارد والزهرة والأرض والمريخ وحزام الكويكبات، لن تصل بك إلا إلى منتصف الطريق إلى زحل. وعندما تصل إلى زحل ستكون لا تزال في منتصف الطريق إلى أورانوس، وأورانوس هو نقطة المنتصف فحسب في الرحلة إلى نبتون (انظر شكل 4- 3).

فإذا لم يكن ذلك كافيا لأن يجعل الكواكب الخارجية عديمة التأثير، فهناك أيضا حقيقة أن قوى المد تنجم عن «الفارق» بين قوى الجاذبية على الجسم المعني، وهذه القوى تذوى في تناسب طردي، «مكعب» مسافة البعد: فإذا زادت مسافة البعد مرتين يذوى التأثير بثمانية أمثال. ونتيجة لذلك إن عطارد الصغير القريب يحدث مدا في الشمس يكاد يماثل في تأثيره ما يحدثه المشتري الجبار البعيد كما أن تأثير الزهرة مقارب لتأثير المشتري،



شكل (4- 3): المنظومة الشمسية
(أ) كل الكواكب المعروفة، باستثناء بلوتو، تدور حول الشمس في المستوى نفسه. أما مدار بلوتو ومدار المذنب هالي فيختلفان تماما من ذلك. وهذا هو أحد أسباب الشك في أن مدار بلوتو قد أصابه فيما مضى اضطراب عنيف.
(ب) بالإسقاط على أحد المستويات نرى أن مدار بلوتو يقطع مدار نبتون. والأبعاد النسبية عن الكواكب الخارجية هي كبيرة جداً بحيث يجب لإظهار المنظومة الشمسية الداخلية أن ترسم بمقياس مكبر (شكل 4- 3 ج).

والمشتري أقل أهمية من عطارد والزهرة والأرض مجتمعة.

ومع ذلك فإن المشتري يمكن أن يسبب لنا مشاكل بطريقة «غير مباشرة». فعندما تندفع المذنبات من أعماق الفضاء الباردة، فإنها قد تمر على مقربة من الكواكب الخارجية الضخمة وتقع تحت تأثير شدها. وبدلا من أن تدور المذنبات للداخل حول الشمس ثم تبتعد ثانية إلى الفضاء البعيد، فإنها يمكن أن تدفع كقذيفة المقلاع في مسار جديد. ومعظم المذنبات تقع أسيرة أفلاك تدور حول الشمس، وهي تلف في مدارات وقطع ناقص ضيق، كما يفعل المذنب هالي. وبعضها الآخر ينتهي إلى مسارات تقطع مسارات الكواكب.

ويكاد يكون من المحتم أنه سيحدث يوما ما أن يتجه أحدها إلى نقطة الفضاء نفسها التي تتجه الأرض إليها، كما حدث في يونيو 1908 عندما اصطدمت الأرض بعشرة ملايين طن من الصخر والثلج هبطت من السماء فوق سيبيريا.

وإذا كنت ممن يراهنون على الكارثة الطبيعية الكونية الأكثر احتمالا فسوف يأتي في مقدمتها احتمال الاصطدام بكويكب أو بقطعة كبيرة من مذنب خامد.

4 دجاجة تدور في دائرة

المذنبات

في الثلاثين من أغسطس عام 1979 سجل قمر صناعي يدور حول الأرض حدثا كارثيا، هو موت أحد الأجرام السماوية. فقد سيطرت جاذبية الشمس على مذنب يسمى «هوارد-كومين-ميتشلز 1979- XI» فهوى مندفعا برأسه إلى فرنها النجمي. وفي ثوان معدودة تم إفناء هذا المذنب الذي يكبر الأرض حجما. فقد أدت قوة الشمس الهائلة إلى تبخر المذنب بمثل ما يفني الفيل نملة. وتبعثر الحطام لملايين الأميال في جو الشمس.

وترجع المذنبات إلى بداية نشوء المنظومة الشمسية، ولعلها بين أعضاء المنظومة هي أكثرها أولية. وهي عبارة عن كرات من الحص والثلج، وتقضي أكثر الوقت في الفضاء العميق فيما وراء بلوتو حيث لا نحس نحن بها حتى تندفع واحدة منها مقتربة من مجال رؤيتنا في مسار حلقي متجه للشمس وملتف من ورائها عائدا مرة أخرى إلى أعماق الفضاء.

ويتجمد رأس المذنب تجمدا شديدا وهو بعيد عن الشمس حيث تصل درجة الحرارة السائدة إلى «-270» درجة مئوية. ويحوي الثلج المواد الخام للحياة:

الأمونيا والميثان والأحماض الأمينية وقد تجمدت تجمدا شديدا. وقد طرح بعض العلماء فرضية تقول إن اصطدامات المذنبات ربما تكون قد أثرت في تشكيل مناخ كوكب الأرض في بدايات نشوئه وجلبت الجزيئات العضوية الأولية اللازمة لفترة التطور ما قبل البيولوجي.

وعندما تقترب المذنبات من الشمس، فإن حرارتها تبخر الثلج. وينبجس الغاز والغبار فيعكسان ضوء الشمس، فيبدو المذنمب لنا على الأرض كرأس لامع، أو كذؤابة. وتتألف نواة المذنب من كتلة أو كتلتين من الصخر قطرها نحو ميل واحد. وعادة ما تكون الذؤابة أكبر من الأرض وتد يبلغ عرضها 100 ألف ميل. وتقوم الرياح الشمسية (جسيمات ذات سرعة عالية تأتي من الشمس) هي والإشعاع بدفع جسيمات غبار دقيقة جدا من الذؤابة، كما يندفع منها أيضا غاز متأين، مما يشكل ذيلا طويلا يشير دائما إلى الاتجاه البعيد عن الشمس. وهذا الذيل يمكن أن يمتد لمسافات هائلة، بل قد يبلغ طوله عرض المسافة بين الشمس والأرض. وهذا الشكل المطول في السماء هو التوقيع المميز للمذنب، وهو ما قد تم تسجيله على سجاد بايو وفي اللوحات المصورة وفي الأدب.

ويطلق الثلج الذائب قطع الحجارة وتكون النتيجة أن يتحول المذنب في النهاية إلى كرة من الحصى حجمها ميل واحد ووزنها يزيد على مليون بليون طن. ورغم ما يبدو من ضخامة هذا الوزن فإنه يعد تافها إذا قيس بوزن الأرض وغيرها من الأجرام السماوية. وفي حدود ما نعلم فان المذنبات لا تثير الاضطراب قط في حركات الكواكب أو حتى أقمارها. ففي عام 1770 وعام 1886 مرت مذنبات بين أقمار المشتري دون أن تحدث أي تأثير ملحوظ في حركة الأقمار، على الرغم من أن مسار المذنبات المنحني كالقذيفة قد انحرف انحرافا له دلالته. وهكذا فإن مرور مذنب على مقربة من الأرض لن يؤثر في مسارها، وسيتطلب الأمر ما يزيد على مذنب حتى يمكن الإطاحة بنا مندفعين قدما للشمس أو منقلبين في أعماق الفضاء.

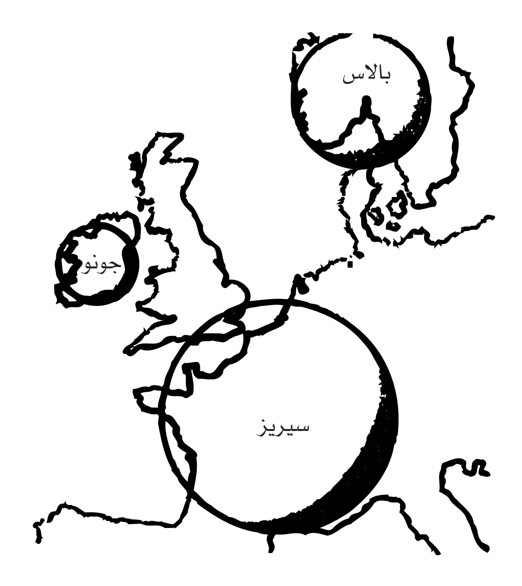
أما الأمر الخطير حقا فهو الضربة المباشرة. فالمذنبات تتحرك بسرعة عدة أميال في الثانية، وهو ما ينطبق على الأرض أيضا، وبالتالي فإن اصطدام كتلة صخرية حجمها ميل مباشرة بالأرض لن يكون أمرا هينا.

ولنذكر هنا أن الاصطدامات التي وقعت في أريزونا وتنجوسكا حدثت

بفعل كتل صخرية عرضها 100 متر فحسب.

وتمر بعض المذنبات بالقرب من الكواكب الكبرى، أي المشتري وزحل، فتتشد إليها وتتحطم قطع صغيرة منها لتتفصل بعيدا مخلفة ذيلا وراء الكتلة الرئيسية. والحلقات الجميلة المحيطة بزحل هي فيما يحتمل قطع من مذنبات خامدة، وكذلك أيضا الحلقات المحيطة بالمشتري، والتي لم تعرف إلا بعد وصول سفينة الفضاء فوياجير إلى هناك. وفي يناير 1986 وصلت فوياجير إلى أورانوس وكشفت لنا عن وجود حلقات هناك. وهكذا فان شظايا المذنبات موجودة في كل مكان.

وهناك حلقات هائلة حول الشمس. وعندما تمر الأرض خلال واحدة منها فإننا نتعرض لوابل من الشهب مع احتراق الغبار في جونا. وتصل بعض القطع الأكبر حجما إلى الأرض كنيازك. وقد تظل تواصل الدوران زمنا طويلا بعد أن تكون القطع الأخرى قد تفرقت أو احترقت بالاصطدام. وتشكل رؤوس المذنبات الخامدة تلك بعض الكويكبات.



شكل (4- 1): الكويكبات. حجم الكويكبات مقارناً بالبلدان الأوروبية. فسيريز وهو أكبرها يغطي مساحة فرنسا، وبالاس يغطي مساحة جنوب النرويج والسويد، وحجم جونو يقارب حجم أيرلندا.

ويبلغ حجم أكبر الكويكبات حجم بعض البلدان. فسيريز يغطي عرضه مساحة فرنسا وبلجيكا معا. أما بالاس وفستا فهما في حجم جنوب اسكندنافيا، على حين يبلغ جونو حجم أيرلندا (انظر شكل 4-1). ولا يقترب أي من هذه الأجرام من مدارنا ليهددنا، لكن هناك كويكبات أصغر كثيرا تقطع فعلا مدار الأرض. وهذه الأجرام الخوارج تدعى «أجرام أبوللو» وتستقي اسمها هذا من اسم كويكب أبوللو الذي يبلغ قطره نصف الميل، والذي تم اكتشافه عندما اقترب من الأرض عام 1932.

أجرام أبوللو

يتضح من الأبحاث الحديثة عن الكويكبات التي تقطع مسار الأرض أنها يمكن أن تكون عديدة. ولا يزيد قطر أي منها على أميال معدودة، ولكن الاصطدام بواحد منها قد يبث الدمار لمئات الأميال ويحدث اضطرابا في الجو بما يسبب على الأقل عواصف هائلة.

وقد ظهرت أول إشارة لمثل هذا الاحتمال الرهيب عام 1898 مع اكتشاف إيروس، وهو كويكب تابع لمدار المريخ. ولأول مرة يتبين علماء الفلك أن الكويكبات ليست مقصورة على المنطقة الواقعة بين المشتري والمريخ. فإيروس يستغرق في دورانه حول الشمس مدة لا تزيد إلا شهورا قليلة على مدة دوراننا حولها. وهو إذ يفعل ذلك يدنو مقتربا منا بأكثر مما اقتربنا في أي وقت من كوكب الزهرة، الجار الأقرب لنا بين الكواكب. وسرعان ما ظهرت أمثلة أخرى من الكويكبات الهائمة. ففي عام 1911 عثر على كويكب صغير سمي اسما سهلا هو ألبرت، وما لبث أن فقد، ولم يظهر له أثر بعد ذلك. وهو ما يثير بعض دواعي القلق، فهناك كويكبات تقطع مدار الأرض ونحن لا نعرف نظام دورانها على وجه الدقة أو لا نعرفه مطلقا.

وتدريجيا، ومع ظهور أمثلة أخرى، زادت احتمالات المخاطر زيادة حادة. ففي عام 1930 اقترب أبوللو إلى مسافة تبعد عنا بسبعة ملايين من الأميال. ومع أن هذه المسافة قد تبدو شاسعة جدا بالنسبة لنا، تقريبا أبعد ثلاثين مرة على بعد القمر عنا، فإن القمر يظل على مسافة منتظمة منا. أما أبوللو فهو يدور ملتفا ليبتعد ثم لا يلبث أن يندفع مقتربا وهو يقطع مدارنا. والحقيقة أنه فاته لقاؤنا بزمن لا يتعدى ستة أسابيع فحسب. ولو كان مدار

الأرض أقرب للشمس بمائة ميل فقط، لكنا بذلك نتحرك بالسرعة الكافية للوصول إلى نقطة التقاطع مبكرين بهذه الأسابيع الستة.

وفي عام 1936 ظهر أدونيس وفاته لقاؤنا بما يقل عن 12 يوما. أي معدل المخاطر آخذ في التزايد. وفي عام 1937 كانت أقرب فرصة للالتقاء بنا هي اللقاء بهرمس، وهو كويكب قطره ميل واحد. وقد قطع مدارنا في زمن سبق وصولنا إلى النقطة الحرجة بأقل من ست ساعات. وست ساعات هي زمن أقل مما يستغرقه عبور طائرة للأطلسي.

وليس هناك ما يدل على أن هذه الأحداث غير عادية. ففي 20 أكتوبر 1976 كانت فترة فوات اللقاء بنا أقل من نصف يوم. وإذا كنت تحس واثقا بأنه «من المؤكد أننا أصبحنا نعرف الآن كل الجدول الزمني وأنه لن تكون هناك أي صدمات جديدة» فإني أعرض عليك ما حدث ليلة 28 فبراير 1982 عندما تم اكتشاف ما سمي بـ«ملامسي الأرض» Earth grazers.

فقد اكتشف هـ. تشوستر في مرصد بشيلي كويكبا يأتي قريبا من مدارنا ولكنه لا يقطعه قط. وفي الليلة نفسها في وقت أكثر تأخرا رصد إ. هلين في مرصد بالومار بكاليفورنيا كويكبا قريبا على نحو ينذر بالخطر وبتتبع مساره من ليلة إلى أخرى تبين أنه يطير مبتعدا عنا بعد أن قطع مدارنا بالفعل مرتين! ذلك أنه وهو في طريقه إلى الشمس قطع مدارنا قبل ذلك بثلاثة أشهر ثم فعل ذلك ثانية وهو يرحل مبتعدا وذلك قبل أن تراه الآنسة هلين بثلاثة أسابيع فقط. ولم يكتشف أحد وجوده أثناء اتجاهه لمدارنا. وفي هذا ما يلقي الضوء على إحدى المشكلات الرئيسية: فأجرام أبوللو هذه كبيرة بما يكفي لتلحق بنا ضررا بالغا، لكنه أصغر من أن يتم اكتشافها بسهولة.

وفي عام 1987 مر الكويكب إيكاروس على مبعدة 4 ملايين ميل منا-أي بمسافة توازي ستة عشر ضعفا لبعد القمر عنا. وأحيانا يكون إيكاروس هو أقرب جرم رئيسي إلى الشمس. وعندما يكون في أدنى اقتراب منها فإنه يطير داخل مدار عطارد ثم يندفع إلى الخارج مارا بالقرب من الزهرة والأرض والمريخ قبل أن ينعطف ثانية ليدور قريبا من المشتري. ومدار إيكاروس منتظم، وسيمر وقت طويل قبل أن يقترب منا كما حدث عام 1983.

على أن اقتراباته الوثيقة بواحد أو آخر من الأجرام المختلفة التي يمر بها أثناء مغامراته يمكن أن تثير اضطرابا في مدار ذلك الجرم بحيث إنه قد يشكل أحد المخاطر في المستقبل البعيد.

وفي المرة الأخيرة التي اقترب فيها إيكاروس منا سأل العلماء أنفسهم، في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا: ما الإجراء الذي يمكننا اتخاذه لو اكتشفنا ذات يوم أن كويكبا يتجه إلينا مباشرة؟

والتقطت هوليوود هذه الفكرة.

ولم تكن الحماسة تعوز صانعي الفيلم في عملهم. فهم لم يكتفوا بكارثة من ضربة واحدة، وإنما تناولت حكاياتهم اصطدام مذنب وكويكب في الخارج في نطاق ما بعد المريخ. وأدى الاصطدام إلى تفتت هذه الأجرام لشظايا عديدة، اتجه بعضها إلى الأرض. واكتشف العلماء في أول الأمر رأس المذنب الكبير في الخارج بالفضاء، وأدركوا أنه يتجه مباشرة إلينا، واشتركت الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي في إطلاق كل أسلحتهما النووية بصواريخ موجهة إلى الجرم الغازي بهدف تحطيمه عاليا وحرف مساره، أو على الأقل تقليل آثار الاصطدام به.

ولزيادة إحكام التوتر، جعلت القصة بعض الشظايا تتجه إلى الأرض متقدمة عن كتلة الصخرة الرئيسية، وارتطمت هذه الشظايا الصغيرة بنيويورك وبعض المدن الرئيسية الأخرى (وهي دقة غريبة في التسديد حيث إن الاحتمال الأكبر هو أن تحط الشظايا في البحر أو في البراري الواسعة كما ذكرنا في الفصل الثاني). وفي النهاية حطت الكتلة المركزية هابطة في فيلم الكارثة هذا لتسحق الكل.

ويعد «هيفا يستوس» اكبر جرم معروف من أجرام أبوللو في الوقت الحالي ويبلغ عرضه 6 أميال. وسوف نرى في الفصل الخامس أن أحد الكويكبات ربما كان السبب في انقراض الديناصورات منذ 65 مليون سنة. والكويكب المشبوه السالف الذكر يبلغ عرضه 5- 12 ميلا. وهكذا يتضح أن هناك فرصة لوقوع اصطدام يهدد الحياة، وإن كانت أجرام أبوللو المعروفة لا تجعل هذا الأمر مرجحا، اللهم إلا في حالة واحدة، فنحن الآن لدينا تجهيزات نووية فوق كوكبنا. ولو أدى اصطدام لتدمير هذه التجهيزات فإن النتائج ستكون بالغة الخطورة.

لقد وصلنا خلال هذا القرن، في مناسبات عديدة، إلى أن يخطئنا الاصطدام بأحد الكويكبات بزمن لا يتعدى عدة أيام وحتى عدة ساعات. وليس هناك ما يدل على أن المستقبل سيكون مختلفا، فكل عدة سنوات سيقترب أحد أجرام أبوللو، التي تقطع مدار الأرض، منا بحيث لن تفصله عن الاصطدام بنا سوى ساعات معدودة. ومن المؤكد أنه بمرور الوقت سيحدث اصطدام مباشر بيننا وبين واحد منها، على أن حساب الاحتمالات يستبعد أن يحدث ذلك أثناء حياتنا.

الشهب

يفوق أجرام أبوللو في العدد حطام المذنبات الأصغر الذي يسبب وابلات الشهب السنوية. ونحن نمر خلال هذا الحطام، ثم نرحل حول الشمس لسنة كاملة قبل أن نعود ثانية للموضع النسبي نفسه ونمر خلال حلقة الحطام ثانية. ورغم أن الحلقة ككل تبدو ساكنة، فإنها في حركة دائمة في واقع الأمر وتتكون هذه الحلقة من قطع من الحصى والغبار تدور هي نفسها حول الشمس. وتمر قطعة حجر مندفعة تتلوها قطعة أخرى وأخرى، بحيث يكون هناك تيار من القطع يستمر طوال الوقت.

ومعظم قطع الغبار الفردية في تيار الشهب لا تزن سوى بضعة جرامات، ولكن لا يستبعد أن يكون هناك رأس مذنب كامن، عرضه بضة أميال-يمثل كويكبا من كويكبات أبوللو في طريقه إلى التشكل. ومن المحتمل جدا أن يكون هناك الكثير من كتل الصخر الكبيرة التي يمكن أن تتصادم وتترك أثرا كبيرا. فإذا كان ذلك صحيحا فمعنى ذلك أن الأرض تعبر في كل عام طريقا رئيسيا مهلكا تبلغ سرعة الأجسام المارة فيه 30 ميلا في الثانية، ورغم أن معظمها هو فتات صغيرة فإنه من الممكن أن يكون هناك جلمود أو جلمودان بحجم الجبال.

وذلك يشبه لعبة الدجاجة التي تظل تدور في أرجوحة دوارة. إن الأرض تدور وتدور، وتخطئ الاصطدام بالرأس الكبير هذه المرة، ثم مرة أخرى، وثالثة، إلى أن تنفد في النهاية احتمالات الإفلات فيتم الاصطدام بنا.

وإذا حدث لمذنب أن تم تدميره تماما فإن حطامه قد يتوزع توزيعا منتظما على كل فلكه. ونحن نشهد عرض الشهب في الليالي نفسها من كل

سنة إذ نمر من خلال المدار، وكثافة ما يعرض تكون متماثلة من عام إلى آخر. على أنه إذا كان المذنب مازال موجودا، أو إذا ما حدث له دمار جزئي فحسب، فإن كثافة الحطام يمكن أن يختلف توزيعها تماما، فتكون الكثافة كبيرة فيما يجاور الرأس، أما بعيدا عن الرأس فتكون بالغة الضآلة. وفي هذه الحالة يصبح لوابل الشهب ذروات درامية في سنين معينة عندما نمر على مقربة من الرأس، على حين يكون الذيل بلا تأثير يذكر فيما بين ذلك من سنوات.

وهناك في كل عام عدد محدود من تيارات الشهب الرئيسية، من بينها تيار شهب ليونيد (12 نوفمبر)، وشهب بيرسايد (منتصف أغسطس)، وشهب بيتاتوريد (ذروتها في 29 يونيو) وشهب جمينيد (14 ديسمبر). ولنتناول فيما يلي كلا منها على حدة.

عندما يحدث وابل ليونيد في نوفمبر من كل عام يكون معدل حدوث الشهب نحو 10 شهب في الساعة. وهناك لوحة حفر في الخشب في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي تبين مئات الذيول لشهب في وابل ليونيد. وهو رقم مبالغ فيه حتى لو أخذنا عنصر المبالغة الفنية في الاعتبار، على أنه لا بد أن وابلا مثيرا قد وقع، ولكن لابد من أنه كان هناك وابل مثير ذات عام حتى يحدث هذا الانطباع عند الفنان.

وكان وابل الشهب العظيم الذي حدث في 12 نوفمبر 1833 هو ما أثار حقا بداية الدراسة الجادة للشهب. وكانت مئات الآلاف منها قد شوهدت على طول الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية، وبدت كلها وكأنها تشع من نقطة في كوكبة الأسد (ليو) ومن هنا كان اسم «ليونيد» ولم يكن مهما أين يكون مكانك، سواء في نيويورك أو في الجنوب، ذلك أن الظاهرة المشعة هي موجودة في النقطة نفسها بالنسبة للجميع. وقد بين هذا أن الشهب كانت آتية من خارج الجو وأن تفرقها الظاهري من نقطة واحدة هو ببساطة من تأثير قواعد المنظور: فالشهب تتحرك في مسالك متوازية في واقع الأمر.

ويرجع تاريخ تسجيلات وابل ليونيد إلى سنة 902 بعد الميلاد. والحقيقة أن الفتح النورماندي كان مثقلا بالأنوار؟ فقد صاحبه المذنب هالي ثم تبعه عرض من وابل ليونيد بالغ ذروته. وفي داخل حلقة الحطام هناك منطقة

عالية الكثافة تدور حول الشمس كل 33 سنة، ومن الواضح أن هذه المنطقة هي بقايا رأس مذنب حيث تحطمت قطعه الأخيرة. وكلما زدنا اقترابا من الجزء الأكثر كثافة ونحن نعبر الطريق، زاد العرض إثارة. وفي عامي 1833، و 1866 كان الوابل ساطعا جدا ولكنه في عامي 1899 و 1932 أصبح بالمقارنة شاحبا نوعا، وإن كان لم يزل أكثر سطوعا مما في السنوات البينية. ثم عادت شهب ليونيد لتصبح مثيرة مرة ثانية في 1966، حيث وصل عددها في إحدى المراحل إلى 10 آلاف شهاب في الساعة.. ترى ما الذي تنذر به سنة 1999 ؟

تقول بعض تفسيرات نبؤات نوستراداموس إن «الرؤيا» ستتحقق في تلك السنة تحديدا. وفضلا عن ذلك فإن أحد المذنبات سينذر بقدومها نحو 21 يونيو. وهكذا فإن تلك السنة تبدو واعدة، على أن هذا التاريخ على صلة بشهب بيتاتوريد أوثق من صلته بشهب ليونيد. وتتضمن النبوءة أيضا أن المذنب سوف يأتي من برج الدب الأصغر بدلا من الأسد، ولعل في هذا ما يجلب الراحة لك.

على أنه من غير المرجح-سواء أكان نوستراداموس قد فسر تفسيرا صحيحا أم لا، بل وحتى لو افترضنا أنه صحيح-أن تكون شهب ليونيد مصدرا للاصطدام بمذنب. فعندما يهبط وابل من عشرات الآلاف من الشهب في الساعة، فإنه يكون من الواضح أننا نمر من خلال رأس مذنب قد تم بالفعل تحطيمه ويصبح من غير المحتمل أن يكون قد تبقى فيها أي لب ضخم ليصطدم بنا.

ولنكتف بهذا القدر عن شهب ليونيد. أما شهب بيرسايد التي تظهر في أغسطس كل عام فمدعاة لحيرة أكبر. وكانت هذه الشهب تعرف ذات يوم بـ «دموع القديس لورانس». وهي تظهر في عرض سنوي ثابت بسرعة شهاب واحد تقريبا في الدقيقة عند ذروتها في 12 أغسطس، ويمتد العرض لأسبوعين قبل وبعد هذا التاريخ، ولكن بصورة أقل إثارة، أو أن هذا على الأقل ما ظلت عليه الحال حتى عامي 1980 و1981 عندما زاد سطوع هذا التيار الشهبي: فجأة. وربما يكون في ذلك ما يثير القلق سنة 2102 للسبب التالي-وهو أن علماء الفلك قد فقدوا أثر أحد المذنبات.

فمذنب «سويفت تاتل» يدور حول الشمس في دورة تستغرق 121 سنة.

وقد تمت رؤيته آخر مرة فـي 1860 وكان ينبغي أن يعود عـام 1981 لكنه لـم يظهر.

لكن أي مذنب لا يمكن أن ينحرف فجأة عن خط سيره-تماما مثلما لا يمكن للأرض أن تفعل ذلك-إذ هو جز من المنظومة الشمسية ويدور حول الشمس تحت تأثير قوى الجاذبية نفسها التي تمسك بالأرض والكواكب الأخرى في مساراتها. فإذا ما فشل مذنب في الظهور فلابد أنه قد مات وتحطم.

وهذا يتلاءم وما حدث من سطوع مفاجئ في شهب بيرسايد في تلك السنة نفسها، حيث تمثل شهب البرسايد نفاية ذلك التحطم. أما المسألة الكبرى المجهولة فهي: هل هناك جرم كبير مجهول ؟ هل هناك قطعة هائلة من الصخر تدور فيما حولنا؟ ربما يجد أحفادنا الإجابة عن ذلك السؤال فيما بعد في أي من السنوات 2102 أو 2223 أو 2344 , 2475.

والآن لعلك تظن أني أحاول أن أقنعك بوقوع أحداث هي في الأساس غير مرجحة الحدوث. وحتى أزيل أي إحساس متبق بالطمأنينة في هذا الصدد، فلنتأمل معا حالة وابل شهب بيتاتوريد، وهي ظاهرة من أشد ظواهر الطبيعة تدميرا خلال هذا القرن.

يصل وابل شهب بيتاتوريد إلى أقصى ذروته في 29 يونيو من كل عام. وقد حدث في صباح 30 يونيو 1908 أن مرت كرة هائلة من النيران في خط عبر السماء لتسوي بالأرض مساحة مقدارها 7 آلاف ميل مربع من الغابات في وادي تنجوسكا. ومن التقارير التي وردت عن درجه التوهج وحجم الدمار قدر العلماء أن قوة الانفجار كانت تماثل الانفجار الناتج عن قنبلة هيدروجينية كبيرة. وقد طرحت عدة تفسيرات تتسم بطابع الإثارة، فأحد التفسيرات قال إن غرباء قاموا بزيارة الأرض في سفينة فضاء ذات محرك ذري، وأن السفينة هوت متحطمة، وقال تفسير آخر إن ضديد المادة Anti matter قد ضرب الأرض، على حين رأى تفسير ثالث أن ثقبا أسود مصغرا ارتطم بالأرض. على أن كل هذه التفسيرات تتجاهل حقائق مهمة. فلا يوجد أي نشاط إشعاعي في الموضع المذكور، وهكذا لا مجال لأي انفجارات نووية من أغراب عن الأرض. ولو كان هناك ضديد مادة لأحدث تفجرات من أشعة جاما ولتخلفت آثار من النشاط الإشعاعي. أما الثقوب السوداء

المصغرة، إن كان لها وجود أصلا، فإنها لو اصطدمت بالأرض لخرجت من جانبها الآخر (هذا إن لم تلتهم الأرض في غضون ذلك)، لكن ليس هناك أي تسجيل لظواهر مذهلة في المحيط الأطلسي في ذلك اليوم. إن بإمكانك أن تختار أي تفسير غريب شئت، ولكن هناك تفسيرا طبيعيا يتناسب مع كل الحقائق.

إن العلماء يجمعون على أن جزءا كبيرا من أحد المذنبات قد ارتطم بالأرض في ذلك اليوم. ونواة المذنب هشة حيث إنها كرة ثلج مليئة بالحصى، وهكذا فإنها عندما تحطمت لم تترك أثرا لحفرة مطبوعة وإن كانت قد أحدثت دمارا هائلا في الموقع، وأثارت اضطرابا في الجو. ونحن في هذه المناسبة قد لعبنا لعبة الدجاجة التي ظلت تدور في دائرة زمنا أكثر مما ينبغي حتى ارتطمت بنا قطعة كبيرة. وربما كان في هذا ما يدل على أن المذنب المرافق لشهب بيتاتوريد قد تحطم الآن نهائيا، ولم يعد هناك أي داع لأن نقلق بعد بشأنه.

وأخيرا فهناك شهب جمينيد، التي ترتطم بنا كلما حل الثالث عشر من ديسمبر. وفي عام 1983 اكتشف أحد الأقمار الصناعية التي تحمل كشافات حساسة بالأشعة تحت الحمراء (القمر الصناعي الفلكي إيراسIRAS(*)) أحد المذنبات. وقد أعطى لهذا المذنب الاسم الكودي «1983 تي بي» وقد لوحظ أن مداره مطابق لتيار شهب جمينيد.

اكتشف القمر الصناعي هذا المذنب في أكتوبر 1983، وبعد أن راقبه طيلة يومين رسم خريطة لمساره. وبدا أنه يتجه مباشرة إلى الأرض مع توقع اصطدامه بها في 13 ديسمبر! وإذ مرت أيام أخرى واقترب المذنب من الأرض قام العلماء بمراقبته بحرص أشد فأخذوا يفطنون إلى أنه ليس تماما في خط واحد مع الأرض. فعلى البعد قد يبدو أحد الأجرام وكأنه يتجه إليك، في حين أنه عندما يقترب يصبح منظورك أفضل فترى أنه سيخطئ الاصطدام بك على مسافة قريبة. وهذا هو ما انتهت إليه الحال مع 1983 تي بي (ومن الواضح أن ذلك هو ما حدث، وإلا لكنا قد تنبهنا لما فعله بنا!). وقد مر المذنب ما تبين الأرض والشمس، وهذه مسافة تعد

(*) الاسم «إيراس» من الحروف الأولى لاسم القمر الصناعي الإنجليزي Infrared astronomical Sat-Ellite (المترجم)

قريبة بالمقياس الفلكي، قريبة بما يكفي لأن تراه رؤية العين ليالي معدودة فيما يحتمل.

ولم يكن هذا المذنب ساطعا بشكل خاص ولعله كان مشرفا على نهاية حياته. وقد تم حساب مداره ووجد أنه سيعود دوريا في نطاق مسافة تبلغ عشر بعد الأرض عن الشمس، أي في نطاق 10 ملايين ميل. وسوف يحدث المشتري، وهو أكبر الكواكب كتلة، اضطرابا في مدار هذا المذنب ويشده بعيدا عنا. وبعد عام 2150 سيكون خارج مدار الأرض بالكلية، وهكذا فليس هناك ما نخشاه من هذا المذنب.

وعلى أي حال، فإنه يمكننا أن نكون واثقين من أنه توجد في أعماق الفضاء مذنبات أخرى تتجه الآن نحونا. سيخطئ معظمها الاصطدام بنا على مسافة 100 مليون ميل أو أكثر وسيقطع أحدها مدارنا كما حدث في 1983.

لقد أدت شظية عرضها 100 متر إلى تدمير واد غير مأهول في سيبيريا عام 1908 ترى أين ومتى تكون الضربة التالية؟

نمسيس والكوكب المفقود

خلال الثمانينيات من هذا القرن عرفنا عن موقعنا في الكون أكثر من كل ما عرفناه قبل ذلك التاريخ. على أننا كشفنا في الوقت ذاته عن منطقة واسعة بصورة مذهلة من الجهل بما يدور في فنائنا الخلفي.

هناك الآن تلسكوبات حديثة تمعن النظر في أعماق الفضاء فتكشف عن آلاف من مجرات النجوم. ولهذه المجرات أشكال لولبية ودائرية ومن قطع ناقص وأشكال أخرى غير ذلك. ويمكننا أن نرقب المجرات وإحداها تشد الأخرى بما بينهما من قوة جاذبية متبادلة مما يؤدي إلى التمدد والتشوه. وقد درسنا نجوما كثيرة من داخل مجرتنا (درب التبانة) دراسة تفصيلية. فنحن نعرف الآن كيف تمت ولادتها، وكيف تعيش وكيف تموت. ونحن نتعلم بسرعة الكثير عن منظومتنا الشمسية فيما هو قريب من ديارنا، وتساعدنا في ذلك رحلات الفضاء. وهكذا طبعت الأقدام البشرية علاماتها على القمر، على حين رست سفينة روبوت فوق المريخ، وأرسلنا سفن فضاء هي بمنزلة مجسات تصور المشتري وأورانوس، وسرعان ما

سوف تصل إلى نبتون، كما طارت سفن عبر مدار مذنب هالي. بل إن هناك خططا لإرسال سفينة مجس إلى الشمس. على أننا لم نحط بعد على أحد الكويكبات ولا حتى طرنا بجوار واحد منها. وهكذا فمازال أمامنا الكثير لنتعلمه.

فهناك فجوة حقيقية، في معرفتنا، بين المنظومة الشمسية الداخلية والنجوم البعيدة: فنحن لا نكاد نعرف شيئا عن الأجزاء الخارجية البعيدة من منظومتنا الشمسية. وكوكب بلوتو البعيد لم يكتشف إلا منذ خمسين عاما. وقمره تشارون الكبير الحجم ظل مجهولا حتى 1978 ! وهو ما يوضح مدى محدودية ما نعرفه عن الأجرام المظلمة حتى عندما تكون قريبة منا إلى حد ما.

ويكتشف علماء الفلك نحو ستة مذنبات جديدة في كل عام. وفي بعض الأحيان يقترب الواحد منها بما يكفي لرؤيته بالعين المجردة. وأشهر زائر منتظم هو المذنب هالي الذي كان مروره بنا عام 1986 بعيدا على درجة من البعد لا تنطوي على أي خطر حقيقي. فقد أتانا في الماضي على مسافات أقرب كثيرا، وكان يمتد عبر أبراج بأكملها بما يصنع مشهدا مروعا. وقد يقترب منا على هذا النحو ثانية في المستقبل.

ومادمنا نكتشف مذنبا جديدا كل ثاني شهر فلا بد أن هناك عددا هائلا من المذنبات داخل المنظومة الشمسية وحولها. ويقدر جان أورت، عالم الفلك الهولندي البارز، أن هناك مائة بليون من المذنبات. وتبين مدارات الكثير من هذه المذنبات أنها تأتي من مكان مشترك في أعماق الفضاء يبعد بمسافة توازي ما مقداره 50 ألف مرة من بعد الأرض من الشمس، أي ما يوازي ربع مسافة بعدنا عن أقرب نجم.

فلتسافر بعيدا فيما وراء نبتون وبلوتو، لأبعد مما وصلت إليه فوياجير حتى الآن، ستكون الشمس الآن شيئا بعيدا معتما. هيا واصل رحلتك في الظلام لما وراء الكواكب داخل الفضاء الذي بين النجوم. إن النجم التالي مازال جد بعيد. وأنت تسافر خلال الظلام، إنه ليل أبدي. وليس هذا فراغا خاويا فهناك في أعماق الفضاء المتجمدة مذنبات هي جبال ثلج عرضها عدة أميال، ولا ترى من الأرض. وليس لأي منها ضوء خاص به. فهي تعكس فحسب، كسائر المنظومة الشمسية، ضوء الشمس. وهناك في

هذا الظلام يكون من الصعب رؤيتها مثلما كان من الصعب رؤية جبل الثلج الذي أغرق السفينة تيتانيك[*1].

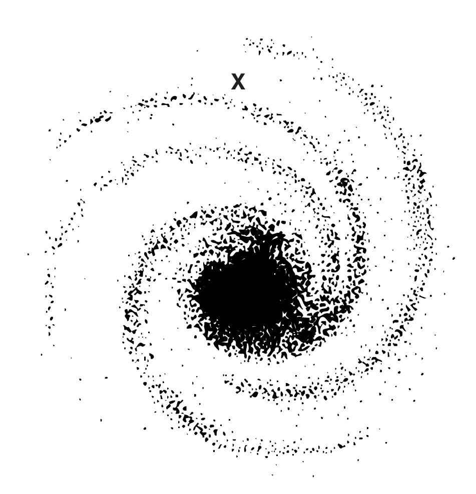
هذا المستودع الذي يحوي 100 بليون جبل ثلج يسمى «سحابة أورت». وعابرو السبيل الكونيون هؤلاء، أو تلك الشاحنات الموسوقة التي تجوب المنظومة الشمسية، تقوم بالدوران ببطء حول الشمس فيما وراء الكواكب على مسافة جد بعيدة حتى أنها تظل ممسوكة في مسارها بالكاد. وأوهى اضطراب في الفضاء يمكن أن ينحرف بملايين من جبال الثلج هذه للداخل متجهة إلينا.

ويرى البعض أن وجود الحفر، وغير ذلك من ملامح الأرض الجيولوجية و«الحفرياتية» فيه ما يدل على أننا يتم قذفنا بالكويكبات والمذنبات كل 28 مليون سنة أو ما يقرب من ذلك. وقد وقع آخر حدث كبير من 11 مليون سنة، وهكذا فنحن الآن نمر بفترة هدوء. والسؤال هو: ما الذي يثير اضطراب المذنبات البعيدة على فترات دورية؟

وأكثر التفسيرات طبيعية هو أن هذه الدورة لها علاقة بحركتنا حول المجرة. فنحن ندور حول الشمس مرة في السنة، والشمس والمنظومة الشمسية كلها تدور حول مركز المجرة مرة كل 200 مليون سنة(انظر شكل4ـ2). ونمر أحيانا بالقرب من نجوم أخرى وهذه تثير اضطراب المذنبات في المناطق الخارجية فيتحرر بعضها منطلقا في الفضاء العميق، على حين يهوي البعض الآخر تجاه الشمس.

وهناك نظريتان أخريان تلقيان باللوم على مواقع أكثر قربا لديارنا. وتقول إحدى هاتين النظريتين إنه قد يوجد في المناطق المظلمة فيما وراء المنظومة الشمسية المعروفة كوكب عاشر-يسمى بالطبع الكوكب إكس! ولا يكاد يكون هناك شك في أن شيئا ما يقبع فيما وراء الكواكب الخارجية. وقد كان ما حث على اكتشاف نبتون وبلوتو هو وجود أوجه شذوذ في حركة الكواكب. وكان علماء الفلك قد لاحظوا في القرن الثامن عشر أن أورانوس يتحرك وكأنه تحت تأثير جرم بعيد. وعندما تم اكتشاف نبتون في 1846 فسر ذلك اضطراب حركة أورانوس، ولكن هذا الاكتشاف بين بدوره

(*1) باخرة عملاقة عابرة للمحيطات غرقت في المحيط لاصطدامها بجبل ثلج في أوائل هذا القرن. (المترجم)



شكل (4- 2): درب التبانة. منظر خارجي لدرب التبانة وموقع الشمس عليه علامة X.

أوجه شذوذ في حركة نبتون نفسه. وبدأ البحث عن كوكب ضخم أكثر بعدا. وتم العثور على بلوتو في 1930، ولكن وزنه خفيف جدا. ولم يحل اكتشاف رفيقه تشارون عام 1978 المشكلة أيضا، فبلوتو وتشارون كلاهما جد صغير، أصغر جدا من أن يفسر قوة الشد المفقودة، ومن هنا كان الشك في أنه مازال هناك كوكب عاشر ضخم يتعين اكتشافه في أعماق الفضاء. ونحن لا نعرف على وجه التحديد أين يكون ولا على أي بعد يكون؟ ولكننا نشتبه في أنه أكبر من الأرض، وأنه أبعد عنا مرتين أو ثلاث مرات عن بعد بلوتو، وأنه يدور حول الشمس كل 1000 عام. والدلائل الوحيدة على ذلك هي أن أورانوس ونبتون كانا مضطربين في القرن التاسع عشر، على حين نجد أن هذين الكوكبين في العقود الأخيرة يتصرفان على نحو «طبيعي». ويطرح هذا أن الكوكب إكس كان قريبا من هذين الكوكبين منذ مائة عام، ولكنه الآن يبعد بعدا كبيرا خارج مستوى مداريهما.

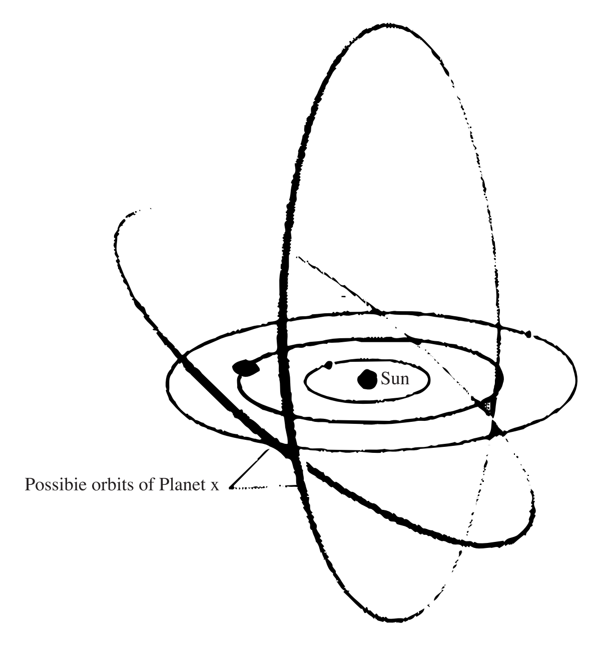
والواقع أن البحث عن الكوكب إكس هو مغامرة حقيقية. في أغسطس 1989 سوف تمر فوياجير (2)-السفينة المجس-بجوار نبتون ثم تندفع خارج المنظومة الشمسية. وسوف تواصل إرسال إشارات ترتد للعلماء على التلسكوبات اللاسلكية لشبكة ناسا(*2) لتتبع أعماق الفضاء في كاليفورنيا

(*2) ناسا الاسم المختصر لوكالة الفضاء الأمريكية (م).

وأستراليا وإسبانيا . وإذا حدث لهذه السفينة، أو لشقيقاتها من سفن بيونير وفوياجير(ا) أن أصبحت تحت تأثير من الكوكب إكس فإن منحنى مسارها سينحرف عن المتوقع. وليس من المحتمل كثيرا مع اتساع امتداد الفضاء أن يتصادف وتلتقي هذه السفن بالكوكب، ولكن الاحتمال موجود على أي حال.

في 1987 عقدت ناسا مؤتمرا صحفيا أعلنت فيه النتائج التي تم الحصول عليها من السفينة بيونير التي كانت وقتها في أقصى الأطراف المعروفة للمنظومة الشمسية. ولم تستشعر بيونير وجود شيء غير موات. وتحمل بيونير أجهزة بالغة الحساسية لأي اضطرابات. وكانت الاضطرابات التي حدثت في القرن التاسع عشر بسبب أورانوس ونبتون كبيرة بما يكفي لرؤيتها، لذلك فإن عدم وجود أي قوة شد زائد على هذين الكوكبين في القرن العشرين والقياسات الدقيقة للغاية لبيونير يحدان تماما من المدارات المحتملة للكوكب العاشر. وبوضع كل المعلومات معا تطرح ناسا الفرض القائل: إن الكوكب إكس له مدار مائل بالنسبة لمدارات الكواكب المعروفة (انظر شكل 4- 3). ومن الممكن أن يتحرك عموديا عليها بل لعله يكون القمر المفقود لنبتون.

وهكذا فإن الكوكب إكس قد يكون موجودا بالفعل، ولكن ليس من المرجح أن يكون مسؤولا عن قذائف المذنبات. فالحافة الداخلية لسحابة أورت أبعد بعشرين مرة على الأقل، وفيما يتجاوز تأثير الكوكب إكس وهو في مداره الطبيعي. إلا أن الالتقاء بمادة مجرية يمكن أن يحدث اضطرابا في مدار الكوكب مرة كل 28 مليون سنة ويؤثر بالتالي في المذنبات. وإذا كان الكوكب إكس موجودا فإن من المحتمل أن تقع الأحداث بهذا التتالي. على أن اختراع الكوكب إكس من أجل هذه الفرضية وحدها يبدو أمرا معقدا بما لا ضرورة له. ويكفي أن نؤكد فحسب أن أيا مما يثير الاضطراب في الكوكب إكس، سيثير الاضطراب مباشرة في المذنبات. وهناك نظرية أكثر إثارة وهي أن الشمس لها رفيق صغير أسود أو نجم شقيق له اسم رومانسي هو نمسيس (الإلهة الإغريقية لدار الفناء)، وهو يتحرك حول الشمس في قطع ناقص طويل ضيق. وهذا النجم لا يقترب قط بأكثر من مسافة توازي 250 ضعفا لمسافة بعد بلوتو ويصل في ابتعاده إلى 4500 مثلا لهذه المسافة.



شكل (4-3). الكوكب إكس - الكوكب العاشر؟
المدارات المحتملة للكوكب إكس حسب ناسا في 1987.

وبمدار كهذا فإنه يندفع خلال سحابة أورت كل 30 مليون سنة. وربما يكون قطع حاليا ثلاثة أرباع الطريق إلى أقرب نجم ساطع، وهو القنطورس الأدنى.

وتذهب التقديرات إلى أن كتلة نمسيس لا تتعدى 1 في المائة من كتلة الشمس، وهو ما يوازي نحو 10 أمثال كتلة المشتري. ونمسيس هو النموذج الأمثل للنجم المظلم الذي يحوي كتلة يبلغ من قلتها أنها لا تكفي لإضرام النيران النووية. وهو يبعث حرارة ولكنه لا يبعث ضوءا، مثله في ذلك مثل النار قبل أن تتوهج. وهكذا فانه لا يظهر في التليسكوب البصري. على أنه ربما يكون قد تم الكشف عنه بالفعل بوساطة «إيراس» أي القمر الصناعي الفلكي ذي الأشعة تحت الحمراء. وإذا كان هذا قد حدث بالفعل فستكون المعلومات عن نمسيس قابعة على أشرطة البيانات تنتظر من يكتشفها. وسيتطلب الأمر عشر سنوات أو نحو ذلك قبل أن يتم تحليل هذه البيانات.

ويبدو أن ثمة دلائل قوية على أن شيئا ما «هناك» يثير اضطراب المذنبات

دوريا. والأمر على هذا النحو يذكرنا بأنه حتى في فنائنا الخلفي قد يكون هناك أجرام مظلمة لا ترى. وقد يكون هناك كم مفرط من حطام كهذا يتخلل المجرة بل ويتخلل الكون كله، أي أن هناك «كون ظل» غير مرئي مصاحبا لكوننا. وفكرة كهذه كان يمكن أن تكون موضوعا لرواية من روايات الخيال العلمي منذ سنوات معدودة فقط، لكن أدلة عديدة تتجمع الآن على أن الأمور قد تكون هكذا (انظر الفصل الثاني عشر). ولا يزال التساؤل عما إذا كانت هذه المادة الشبح مسؤولة عن قذائف المذنبات قيد البحث.

عندما يدخل أحد المذنبات إلى المناطق الداخلية من المنظومة الشمسية، فإن شد قوى الجذب من الكواكب الكبيرة قد يدمره بالاصطدام أو بالتفتت، أو يقذف به بعيدا إلى الأبد، أو يأخذه أسيرا في مسار محكم حول الشمس.

وبعض المذنبات تشد إلى مدارات ضيقة لدرجة أنها لا تقطع مسارنا فحسب، بل تدنو أيضا من الشمس. وإذا كان مدارها في مستوى مدارنا نفسه فإنها تقع في خط رؤية الشمس، وبالتالي يصبح من الصعب جدا رؤيتها ولا نرى منها إلا ما تكون ساطعة بما يكفي لأن ترى في السماوات المضاءة بنور الشفق. وثمة أمثلة عديدة تم اكتشافها أثناء الكسوف الكلي للشمس، بل إن عددها يكفي لأن يشك المرء في أن هناك عددا أكبر كثيرا من هذه المذنبات المقتربة من الشمس في انتظار أن يكتشف.

ومن بين هذه المذنبات المذنب المسمى هوارد-كومين-ميتشلز 1979 XI. وقد رصدت الكاميرات المثبتة في القمر الصناعي التابع لسلاح الجو الأمريكي هذا المذنب، وهو يقترب من الشمس بسرعة 150 ميلا في الثانية. وقد دخل المذنب في مستوى يعلو مباشرة مستوى الكواكب، وأخطأ الاصطدام بنا ولكنه اصطدم بالشمس. وبعد الاصطدام تبعثر الحطام على الجزء الداخلي من المنظومة الشمسية.

وهكذا فإن مذنبا واحدا على الأقل قد ارتطم بالشمس. أما الأرض فهي هدف صغير، ولا يتعدى احتمال أن نكون نحن وأحد المذنبات في المكان نفسه عند اللحظة نفسها نسبة واحد في البليون. ولكن إذا كان هناك 100 بليون مذنب في سحابة أورت، وإذا حدث أن قلة منها عددها 1 في المائة قد اضطربت بسبب مرور أحد النجوم بها، فإن بليون مذنب سوف تدخل المنظومة الشمسية. وهذا يجعل من شبه المؤكد أن يصطدم بنا

أحد المذنبات ذات يوم.

ومن الممكن أن يصطدم بنا مذنب في حجم مذنب هالي إما بمؤخرته أو برأسه. ويعني هذا أنه سيقترب منا في أي سرعة تقع ما بين 10 و 50 ميلا في الثانية. ولو أخذنا سرعة 30 ميلا متوسطا لسرعة المذنب فسنجد أن الاصطدام سيطلق كما من الطاقة في الثانية يماثل الطاقة التي تجلبها الشمس للأرض كلها في أربعة أشهر، أي كما لو كانت كل الترسانات النووية في العالم قد انفجرت متزامنة في المكان نفسه، وهو يناظر أيضا نصف مليون زلزال قدرها 9 بمقياس ريختر-وهي أكبر درجة قد تم تسجيلها على الإطلاق تحدث جميعا في وقت واحد.

وتكفي هذه الطاقة لإزالة كل الغلاف الجوي. وتلك طريقة درامية للتفكير في الأمر، لكنها تبالغ في إثارة المخاوف، ذلك أن الطاقة في أغلب الظن سوف تتشتت. وهكذا ينبغي أن نقدر تأثيراتها باستخدام أنواع أخرى من المقارنة.

فإذا تشتتت هذه الطاقة كحرارة خلال الجو فإنها ستزيد حرارة الهواء بمقدار 190 درجة بمقياس سلسيوس[*3]. وزيادة حرارة الجو ستؤدي إلى تدمير الحياة. والرطوبة العالية التي في الهواء الساخن سوف تتكثف داخل الأجسام الباردة عندما تتنفس الحيوانات هذا الهواء للداخل. وربما يكون مصير حيوانات البحر أفضل إذا كانت في موقع بعيد عن الصدمة، والمحيطات ككل ستزيد درجة حرارتها بدرجات محدودة فحسب، أما البحر المغلق مثل البحر الأبيض المتوسط فإنه يمكن أن يغلي. وستؤدي الحرارة الشديدة إلى تبخر الصخور وسوف تتساقط ثانية على الأرض في كريات زجاجية تشبه كريات التكتيت[*4] في تكوينها (انظر الفصل الخامس). وربما مثل وجود كريات التكتيت في أرجاء مختلفة من كوكب الأرض الآثار الباقية من اصطدامات كارثية وقعت فيما قبل التاريخ.

كذلك يمكن أن يلقي انفجار هذه الطاقة بغطاء دائري حول الأرض يحوي بلايين الأطنان من الغبار، مما يحجب ضوء الشمس. وجلدنا العاري

(*3) القياس المئوي للحرارة. (المترجم)

(*4) Tektites أجسام زجاجية يكثر وجودها في تشيكو سلوفاكيا وإندونيسيا وأستراليا، ولعلها من أصل نيزكي. (المترجم).

يمكن أن يحس بظل سحابة تعبر الشمس في يوم من أيام الصيف، أما سحابة الغبار التي تبقى لسنوات فإن استطاعتها أن تهلك النبات وأن تعطل التسلسل الغذائي. وهكذا فحتى لو كان عرض الأمر على أنه «إزالة للغلاف الجوي للأرض» يتسم بالمبالغة في إثارة المخاوف، فإن الهلاك الذي من نوع آخر هكذا ليس أكثر بعثا على الطمأنينة بحال.

وقد يكون ذلك هو ما أدى إلى قتل الديناصورات. وهناك جهد بحثي مكثف يتم بذله الآن لمحاولة تعرف المجرم الذي قتلها. ويعتقد بعض العلماء الآن أنهم يعرفون الإجابة.

5 موت الديناصورات

أدى ظهور البشرية وتطوير الأسلحة الذرية إلى توافر إمكان أن تدمر الحياة على وجه هذه الأرض بأيدينا نحن أنفسنا. واحتمال أن يأتي يوم القيامة بهذه الطريقة هو احتمال أكثر رجحانا من احتمال حدوث كارثة طبيعية. وفيما عدا هذا الاستثناء ليس هناك أي تغيير له دلالته فيما يتعلق بمخاطر الطبيعة. فاحتمال أن يتم فناؤنا في الغد لا يختلف كثيرا عن احتمال إصابتنا بقذائف في الأمس. وإذا كان ثمة احتمال قوي بأننا سنرتطم بمذنب أو كويكب في ملايين السنين التالية، إذن فمن المحتمل أن يكون قد تم الاصطدام بنا في الماضي.

ونحن نعرف أن ذلك قد حدث لنا. فواقعة تنجوسكا عام 1958 وحفرة الشهاب التاريخية في أريزونا هما مثلان على اصطدامات «صغيرة». وأنا أقول هنا «صغيرة» لأن تكرار مثلها قد يهدد مدينة ولكنه لا يكاد يهدد بلدا، دع عنك أن يهدد العالم كله. لكن ما يعنيني أكثر في هذا الصدد أن يؤدي اصطدام مذنب بأكمله أو بأحد الكويكبات إلى مسح الحياة تماما كما نعرفها. وإذا كان هذا الاحتمال يشكل تهديدا حقيقيا في مدى الأعوام الملايين العشرة التالية مثلا، فلا بد من أن اصطدامات

كبيرة قد حدثت مرات عديدة في الماضي وتركت علاماتها في السجل الجيولوجي وسجل الحفريات.

وهناك سجلات حفرية وافرة تغطي 570 مليون سنة، أي ربع زمن وجود الأرض. وأثناء هذه الفترة حدثت خمس أزمات جيولوجية هائلة حيث اختفت أنواع كثيرة من الكائنات الحية. وأكثر هذه الأزمات درامية هو نهاية العصر البرمي Permian(*) منذ 250 مليون سنة، عندما هلك 96 في المائة من كل الأنواع. وقرب نهاية العصر الترياسي Triassic(1*)، منذ 215- 225 مليون سنة، اختفت أنواع بأسرها من البرمائيات والزواحف القديمة وظهرت لأول مرة الديناصورات بوفرة على سطح الكوكب. وأحدث ما وقع من عمليات الانقراض الكبرى هذه كان منذ 65 مليون سنة. فقد هلك ما يقرب من نصف الأجناس التي كانت تعيش في ذلك الوقت، بما فيها الزواحف البحرية والطائرة، والحيوانات والنباتات الميكروسكوبية الطافية، ثم أشهر الإنقراضات كلها وهو موت الديناصورات. وانقطاع الاستمرارية هذا يحدد الحد الفاصل ما بين العصر الطباشيري والعمر الثلاثي Tertiary epoch(2*).

وهناك تفاصيل كافية في سجل حفريات العصر الثلاثي بحيث يمكننا أن نتعرض منها على تقسيمات فرعية، وهذه التقسيمات هي التي حفزت طرح أول فروض جدية بأن الأرض قد عانت من إصابتها بالقذائف. وموت الديناصورات إنما هو وافد حديث إلى القصة، فلقد مر ما يزيد على ثلاثين عاما منذ ظهر أول فرض بأن قذائف من خارج الأرض قد تركت آثارا محفورة حديثة.

وقد لا يكون لأحداث الانقراض أي علاقة باصطدامات من خارج الأرض، إذ قد يكفي سببا لوقوعها أن تحدث تغيرات في المناخ، كما حدث في العصور الجليدية، أو أن تحدث فترات من النشاط البركاني البالغ الشدة. والواقع أن هناك اعتقادا واسع الانتشار بأن بدء سيادة الديناصورات كان

(*) العصر البرمى هو العصر الآخر من الدهر القديم. (المورد)

(*1) العصر ال ترياسي اقدم عصور الدهر الوسيط، وفيه سارت الزواحف على الأرض وبدأت الثدييات في الظهور. (المورد)

(*2) العصر الثلاثي: العصر الذي تكونت فيه سلاسل الجبال الكبرى كالهيملايا والألب.. الخ. (المورد)

نتيجة لفوزها في المنافسة مع النوع السائد من حيث إنها تكيفت على نحو أفضل مع البيئة المتغيرة. وتشير الأدلة في هذا الصدد إلى أنه بدلا من حدوث تغير حاد مفاجئ فإنه قد حدثت عدة مراحل من إحلالات تنافسية من أشكال قديمة إلى أشكال جديدة على مدى فترة تتراوح بين 10 و 25 مليون سنة.

على أنه يبدو أن زوال الديناصورات منذ 65 مليون سنة، كان مختلفا نوعا عن ذلك. ولا أحد يعتقد الآن، سوى قلة ضئيلة، بأن الثدييات قد نافست الديناصورات، وسرقت بيضها وبالتالي أفنتها، أو أن هذه الوحوش التي يبلغ وزنها 100 طن وطولها 30 مترا أصبحت عاجزة عن التناسل. لقد ظلت الديناصورات تتزاوج برقة ونجاح طيلة 150 مليون سنة. وقد عرضت أمام المشابهين في الاجتماع السنوي للجمعية البريطانية للتقدم العلمي، عام 1987، الأدلة التي توضح كيفية حدوث ذلك.

لقد قامت الدكتورة هيلين هيست بالانحناء فوق كرسي وقد مدت ساقها اليسرى في الهواء متظاهرة بأن هذه هي الذيل الهائل لأنثى الديناصورات. وقام بيفرلي هالستد بأداء دور ذكر الديناصورات، وعقف ساقه اليسرى فوق ساقها مبقيا قدمه اليمنى على الأرض. وهكذا فإن الساقين اليسريين التفتا معا. والغرض من هذا العرض، بخلاف ما فيه من تسلية هائلة وأنه كان أحد البنود شديدة الإثارة في الاجتماع كله، هو أن يوضح كيف أن ذكر الديناصورات يجب أن يبقي ساقا على الأرض ليتجنب سحق شريكته. فوضع الاتصال كان وضعا مباشرا نسبيا، وليس من سبب للاعتقاد بأن الديناصورات أصبحت فجأة عاجزة عن ذلك.

ويبدو أن انقراض الديناصورات كان-بشكل ما-نوعا من الحدث المفاجئ وقع بفعل المصادفة، وقد ثار الكثير من الجدل بشأن الأسباب المحتملة لذلك.

ومن أفضل ما راج من تلك الأسباب وجود تدخل من خارج الأرض. وثمة دلائل كثيرة في السجل الجيولوجي على أن كويكبا أو مذنبا في حجم مانهاتن قد دك الأرض، وجعل السماوات مظلمة بالغبار المندفع لأعلى حاجبا ضوء الشمس ومفنيا النباتات والحيوانات. وهذه الفكرة التي نظر إليها سابقا بشيء من الشك، عادت مرة أخرى تجذب الأنظار عندما استنتج

بعض علماء الفيزياء أن هناك شواهد على أن الديناصورات قد فنيت بتدخل من خارج الأرض. وقد أدى الذيوع الواسع إلى أنه قد أصبح يعد الآن نوعا من «شبه الحقيقة». ويقوم الآن علماء الجيولوجيا والحفريات والفيزياء والكيمياء الجيولوجية بمناقشة هذا الموضوع المهم معا في المؤتمرات. وكما سوف نرى، فإن السؤال مازال مفتوحا، ولكن لما كان هذا الكتاب يتصل بالتهديدات التي تأتي من خارج الأرض لكوكبنا فسوف أعرض قضيتهم.

لقد أتت أول الدلائل من ظاهرة تبدو لأول وهلة وكأنها لا علاقة لها مطلقا بالديناصورات، وبما يأتي من خارج الأرض. إذ تبدأ القصة بلغز كريات التكتيت.

لغز التكتيت

في أعماق التربة والصخور تحت أقدامنا يتوارى التاريخ الكامل للأرض. وقد كتب عالم الجيولوجيا جيمس هتون في القرن الثامن عشر يقول: «إن الحاضر هو مفتاح الماضي»، وكلما زاد وزاد عدد الجيولوجيين الذين يدرسون الصخور في دراسة ميدانية أصبح واضحا أن سطح الأرض قد استغرق ملايين السنين حتى يتشكل ثورات بركانية، تقدم وتراجع البحار، إذ ترتفع الأرض وتهبط رفع الجبال وتآكلها، طبقات الصخور التي تخلفت والموجودة الآن عميقا تحت الأرض، ولكنها كانت ذات يوم على السطح. وهكذا تتكشف العصور في المناطق الجبلية، وفي الجروف والممرات. وتتبئنا بقايا الحفريات في هذه الصخور بحياة النبات والحيوان في العصور الماضية.

لقد صنعت الأرض من الصخور التي صنعت بدورها من المعادن-أي من كيماويات لا عضوية (لا عضوية بمعنى أنها ليست كالحيوان أو النبات). والأمثلة المألوفة تتضمن الجبس والمرو والتوباز والألماس. ويتم تصنيف الصخور حسب أصلها. فالصخور البركانية هي نتيجة «اللافا» المنصهرة التي بردت. والصخور الرسوبية نتجت عن الرواسب، مثل الرمل والحصى، وقد انضغطت في كتلة متماسكة مثل الحجر الرملي، والطفل والطباشير. والصخور التحولية metamorphic هي صخور تغيرت بطريقة ما من حالتها الأصلية كأن تتفتت مثلا كالتربة.

وهناك صخور ومعادن كثيرة قد شكلت في صورة أدوات، مثل الحجر والصوان والحديد في المجتمعات القديمة، أو تم اكتنازها لجمالها مثل الذهب والماس. ومن بين هذه هناك التحف مثل كريات التكتيت.

وكريات التكتيت كريات من زجاج طبيعي قاتم (كلمة تكتيت مشتقة من الكلمة الإغريقية Kektos ومعناها مصهور). وقد ظهرت أول أمثلة منها في مولدافيا بتشيكوسلوفاكيا في القرن الثامن عشر. وكان لونها أخضر غامقا كلون القوارير، وكان يمكن أن تعد من بقايا مصانع قوارير منسية من زمن طويل لولا أنها تغطي منطقة بالغة الاتساع فهناك 10 آلاف قطعة معظمها يزن 10- 20 جراما تنتشر فوق مساحات واسعة.

ومنذ نحو عام 1860 تم اكتشاف مواقع عديدة حول العالم، دون أي تفسير في كل الحالات. وقد سميت حسب موقعها، فهي مثلا المولدافية في بوهيميا، وزجاج دارون في تسمانيا، وزجاج الصحراء الليبية. ظهرت على وجه الأرض في أزمنة مختلفة اختلافا واسعا: وكمثل فإن كريات تكتيت أمريكا الشمالية عمرها نحو35 مليون سنة، وكريات تكتيت أوروبا عمرها 14 مليون سنة، على حين كريات تكتيت أستراليا وساحل العاج أكثر حداثة، فعمرها يتراوح بين 700 ألف سنة ومليون سنة.

وكريات التكتيت كلها من الزجاج الطبيعي، ووزنها قد يقل حتى الجرام الواحد أو يزيد حتى 8 كيلوجرامات. ومعظمها أسود، وبعضها أخضر، والقليل منها أصفر. وهي مصقولة في بريق رهيف، ولها أحرف وشقوق تتبع تركيبا داخليا ملتويا. ولها أشكال كثيرة: شكل كرات أو شكل كرتين موصولتين بذراع أو شكل أقراص، وقد أدى الافتتان بها إلى الاعتزاز بها في بعض أنحاء العالم كتعاويذ.

وتكوينها الكيميائي مشابه للصخور الرسوبية، ولكن ما من عملية «أرضية» يمكن أن تفسر تحول هذه الرواسب إلى كرات زجاج. وقد ظن الناس في أول الأمر أن كريات التكتيت تأتي من الثورات البركانية. على أنه قد تبين في النهاية أن تركيبها الكيماوي يختلف عن تركيب المواد الزجاجية المألوفة الناجمة عن هذه الثورات البركانية. وفوق ذلك فليس هناك مواقع بركانية واضحة بالقرب من حقول التكتيت. ومعظم كريات التكتيت صغيرة ومستديرة، مما يوحي بأنها قد سقطت عبر الغلاف الجوي، ولكن ما من

أحد رأى كرية تكتيت وهي تسقط، كما أنها لا توجد في النيازك.

وهناك فرضيات عديدة عن أصل هذه الكريات من بينها حدوث برق في جو مترب، وإحماء نيازك حجرية، واصطدام نيزك بتابع طبيعي للأرض (دون تحديد ماهيته) وسقوط ضديد للمادة. والكلمة ذات التأثير هنا هي «سقوط»، فهذه الأفكار تسقط إذا أمعن النظر فيها بصورة جدية.

لقد ظلت كريات التكتيت دائما لغزا كبيرا يحير الأفراد الذين «يلتقطون الصخور ويتأملون أمرها». وبحلول 1982 كان هناك رأيان رئيسيان كلاهما يتناول ما يأتي من خارج الأرض. واحد يرى أنها منتجات بركانية من القمر، على حين يذهب الآخر إلى أنها ناجمة عن اصطدام المذنبات أو الكويكبات التي ترتطم بالأرض.

وقد جلبت السفينة أبوللو عينات من القمر. ونتيجة لتحليل صخور القمر أصبح يبدو على نحو متزايد أنه من غير المحتمل أن تكون براكين القمر هي العامل المفسر لكريات التكتيت الأرضية. وهكذا أصبح مؤيدو نظرية الأصل القمري في حالة تقهقر، على حين تكسب نظرية الاصطدام شيئا فشيئا أرض المعركة.

نظرية هارولد يوري عن قذائف المذنبات

في عام 1939 طرح ل. ج. سبنسر الفرضية القائلة إن كريات التكتيت هي نتيجة تساقط النيازك. ولما لم يكن هناك حفرة ظاهرة تصاحبها فقد تم افتراض أن النيازك قد تفتتت قبل الاصطدام.

وبعد ذلك بسنوات بدأ هارولد يوري (المشهور بحصوله على جائزة نوبل عام 1934 لاكتشافه الديتريوم-أي الهيدروجين الثقيل) يفكر في المشكلة من منظور عالم الفيزياء، وقرر أن كريات التكتيت لا تأتي من الفضاء الخارجي وتيقن أولا من أنها لا يمكن أن تنجم عن تفتت كتلة كبيرة. فوقوع شيء كهذا يمكن أن يؤدي إلى هطول وابل من الكريات فوق أميال معدودة ولكنه لا يمكن أن يفسر وجود كريات التكتيت فوق كل أستراليا الجنوبية.

كما أنها لا يمكن أن تكون قد وصلت في حشد منتشر وهي جاهزة الصنع، فجاذبية الشمس ستفتت الحشد وتنشر كريات التكتيت فوق الأرض كلها. وهكذا فان تفتت النيازك لا يعد أساسا كافيا للتفسير، بل إن الطرف

النقيض يوفر ما يكفي ويزيد.

فحشد كريات التكتيت الكثيف يمكن أن يتجنب الانتشار على الكرة الأرضية بأن يكون توزيعه جد كثيف على سطح الأرض. على أن كريات التكتيت تمتد منتشرة فوق مساحة كبيرة، وهي لا تغطي الكرة الأرضية بصورة متسقة، ولا هي تتكدس بما يصل إلى كثافة 100 جرام في السنتيمتر المربع.

واحتار يوري، وفكر «كحل أخير» في أنه ربما قد حدث اصطدام بين الأرض وكوكب صغير (كويكب) وأن هناك «ميكانيزم» ما مجهولا قد غطى الحفرة، ذلك أن مواضع التكتيت تبدو وكأن فيها ما يدل على موقع سقوط.

على أن هذا التفسير لم يكن مقنعا بما فيه الكفاية، وظل يوري محيرا. ثم جاء اقتراب أحد المذنبات وهو «أريند-رولاند» ليدفعه للتفكير في السؤال التالي: ماذا يحدث لو ارتطم مذنب بالأرض؟ من الواضح أن أحدا لم يحسب نتائج ذلك بأي تفصيل، وهكذا أخذ يوري هذه المهمة على عاتقه. وفجأة بدأت كل الأشياء تترابط في نسق منسجم.

لقد أجرى يوري حساباته قبل عدة سنوات من رحلة السفينة جيوتو إلى المذنب هالي والتي أوضحت لنا مم يتكون بالفعل داخل المذنب. وتدل نتائج جيوتو على أن يوري يمكن أن يكون مصيبا تماما.

فرأس المذنب هو بنية مخلخلة تصدمها عنيفا جسيمات عالية السرعة آتية من الشمس (الرياح الشمسية). وتأثير ذلك هو كما لو كانت مادة رأس المذنب هي من كيماويات متفجرة تحترق وئيدا. وقد حسب يوري مقدار القوة المتفجرة الموجودة داخل المذنب. فإذا كان عرض الرأس من 7 أميال، وهو يتحرك بسرعة 25 ميلا في الثانية (وهذه هي السرعة النمطية للشهب الاصطدامية أو أي جسم يتحرك تحت تأثير جاذبية الشمس عند مدار الأرض)، فإنه يحوي طاقة 50 مليون قنبلة ذرية. وتنطلق هذه الطاقة عندما يرتطم المذنب بالغلاف الجوي. وعند سرعة كهذه فإن ارتطام المذنب بالغلاف الجوي يكون مماثلا للارتطام بحاجز صلب. ويؤدي الانضغاط وزيادة الحرارة إلى انفجار المذنب. وتتمزق معظم كتلته في غاز ساخن عالي السرعة يستمر في طريقه للأرض، ليسخن سطحها إلى نقطة الانصهار.

إن من السهل أن تصف مثل تلك المقادير القصوى كأن نقول: «كذا قنبلة

هيدروجينية»، ولكن هذا ليس دقيقا تماما. فتمزق المذنب يبدأ على ارتفاع 40- 60 ميلا، وفيه بعض أوجه الشبه لانفجار قنبلة ذرية في الهواء. على أن له تأثيرات مختلفة نوعا بسبب الهواء المضغوط والحرارة المنخفضة نسبيا التي تتوزع خلال كتلته. فالانفجار الذري انفجار مدموج، وبملايين من الدرجات ويبعث إشعاعا مميتا. أما تمزق المذنب فهو أبرد كثيرا من ذلك، وبدرجات حرارة تماثل ما عند سطح الشمس (وهي حرارة وإن كانت مازالت تعد ساخنة بلغتنا إلا أنها تعد هينة بالمقياس النووي). وتأثيرات ذلك تشبه الانفجار الذي يدفع بالقذائف Propellant أكثر مما تشبه نوع الانفجار بمادة تفجير Detonating.

وترتطم الكتلة بالسطح لتتوقف خلال ثانية. ويمكن أن يصل أقصى ضغط إلى ما يزيد على الضغط الجوي بـ 40 ألف مرة، وتصاب مساحة واسعة، وتكون نتيجة ذلك ألا يحدث اختراق عميق. والسمات النوعية لحادثة تنجوسكا تشبه نموذجا مصغرا من هذا.

إن الحرارة السطحية عند الصدمة تكون عالما تتبخر فيه الصخور. ويقذف الانفجار هذه الدوامة الهائلة عاليا في الجو حيث تبرد متحولة إلى كريات زجاجية. وهذه الكريات الزجاجية الصغيرة هي ما نجده على الأرض ونسميه كريات التكتيت. وهكذا يتضح أن كريات التكتيت تأتي من سطح الأرض، فهي صخور انصهرت ثم بردت ثانية. وتفسر هذه النظرية لماذا يكون لكريات التكتيت تركيب متباين، ذلك أنها ناتجة عن الصخور المحلية. ويوفر الاصطدام حرارة طبيعية عالية للانصهار، والعلامات الموجودة على الكثير من كريات التكتيت تشبه تلك التي نتوقعها من تبريد السوائل وهي تتجمد. كذلك يتم تفسير وقوع كريات التكتيت على ساحة واسعة.

ولا يتلاءم هذا التفسير مع الملامح الكيفية للكريات فحسب بل يتفق اتفاقا جيدا أيضا مع كمية كريات التكتيت والتوقعات المبنية على معرفتنا بالمذنبات. وهذا أمر مهم. فالكثير من «التفسيرات» العلمية الزائفة تفشل عندما تتم مواجهتها مواجهة «كمية»، ومن الواضح أن الأفكار اللطيفة لا تتلاءم أحيانا مع القياس الكمي للظاهرة.

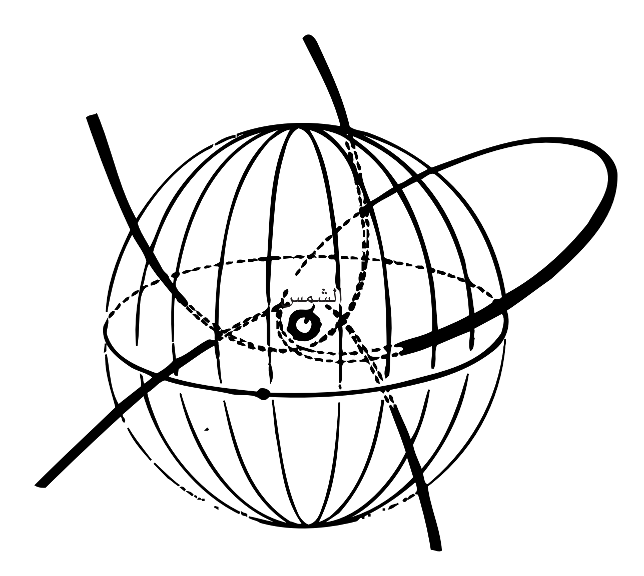
وإذا كانت كريات التكتيت تنتشر حقا فيما حولها كنتيجة لوقوع اصطدام، فإن بإمكاننا أن نستنتج حجم الجرم «الغازي» من مدى ما أحدثه من انتشار

كريات التكتيت وكميتها. لقد وجدت كريات التكتيت بأمريكا الشمالية في مساحة تغطي ملايين الأميال المربعة. وتدل أعدادها على أن الجرم الغازي لا بد أنه كان يزن 50 بليون طن على الأقل، وأن عرضه عدة أميال. وهذا تقدير بخس لأن حجم منطقة السقوط قد يكون أعظم، ويمكن أن تكون هناك كريات تكتيت لم يتم الكشف عنها في المحيطات مثلا. وهذه الكتلة معقولة جدا بالنسبة لمذنب، فالمذنب هالي مثلا يبلغ مقداره ما يقرب من عشرين مثلا لذلك.

وإذا كانت كريات التكتيت ناتجة عن الاصطدامات، فإن عمرها يدل على أنه قد حدثت أربعة اصطدامات رئيسية عبر ما يقرب من 35 مليون سنة. وهو ما يتلاءم مع الاحتمالات العشوائية ويسهل حسابه.

إن هناك مذنبات كثيرة تمر عبر مدار الأرض في كل سنة. وعلينا أن نحسب احتمال أن يوجد واحد منها معنا في المكان نفسه عند الوقت نفسه. والمذنبات تأتي من كل الاتجاهات، أسفل أو أعلى من مستوى مدارنا، وبالتالي يصبح احتمال الاصطدام أقل كثيرا عما إذا كانت المذنبات تتحرك معنا على الصفحة المسطحة نفسها.

وبدلا من التفكير في الدائرة التي تدور الأرض من حولها فإننا ينبغي أن نتصور كرة نصف قطرها مماثل لنصف مدار الأرض. وما يثير اهتمامنا هو المذنبات التي تأتي من الخارج وتدخل هذه الكرة. وفي اللحظة التي يقطع فيها أحد المذنبات هذه الكرة، تكون الأرض في مكان ما عند السطح. تصور الأرض على أنها القرص الأسود الصغير في شكل (5-1). واحتمال أن يرتطم المذنب بالأرض هو بنسبة مساحة القرص إلى مساحة سطح الكرة، أي احتمال بنسبة 1 :000 ,000 ,000 ,2 والحقيقة أن الاحتمال أكبر من ذلك مرتين لأنه إذا أخطأ المذنب الارتطام بنا وهو في طريقه للداخل فإنه مازالت لديه فرصة الارتطام بنا وهو في طريق عودته. وجاذبية الأرض تمتد إلى الفضاء وتستطيع أن تجذب مذنبات هي لولا تلك الجاذبية لأخطأتها. على أن تأثير الأرض ليس تأثيرا كبيرا جدا. فالأرض ليست كالمشتري مثلا، وإن كان يزيد الاحتمالات بالفعل بمقدار يتراوح بين 2 و5. والنتيجة هي نسبة احتمال توازي 1 في 200-500 مليون بالسنة للمذنب الواحد.



شكل (5- 1) تقاطع منحنى المسارات مع الأرض. تمثلها النقطة السوداء التي تتحرك حول الشمس في مدار شبه دائري، نصف قطره نحو 100 مليون ميل. وتظهر في الصورة كرة لها نصف القطر هذا. وأي مذنب أو أي جرم سماوي آخر يأتي من مكان بعيد ليقترب من الشمس أكثر من قربنا لا بد أن يقطع هذه الكرة.

ومن المعروف أنه في كل سنة يقترب من الأرض على هذا النحو ما يقرب من اثني عشر مذنبا. وهذا يقودنا إلى التقديرات الأصلية القائلة إن اصطداما بأحد المذنبات يحدث في المتوسط مرة كل 20- 50 مليون سنة. على أن من المتفق عليه عموما أن هذا التقدير أقل من اللازم. فهو يشمل فحسب المذنبات التي نكتشفها، وهناك تقديرات تقول إنه مع كل مذنب نكتشفه يوجد ثمانية لم تكتشف. وهكذا يرى بعض العلماء أن الاصطدام يحدث مرة كل 10 ملايين سنة.

إن كل الذين يقامرون يعرفون أنه قد تحدث للمرء نوبات من حسن الحظ، على حين يكون عليه في أحيان أخرى أن ينتظر زمنا. والاحتمالات فيما يتعلق بحدوث أربعة اصطدامات خلال الخمسة والثلاثين مليون سنة الأخيرة هي 1 من 4- وهي تماثل الاحتمال بأن تخمن تخمينا صحيحا أي نوع من الأنواع الأربعة تكون ورقة «الكوتشينة» التي لا تراها. فإذا نجحت في ذلك، فلا يكاد يكون هناك أي احتمال لأن يتهمك أحد بالغش-فواحد

من أربعة هي نسبة احتمال معقولة. وهكذا يصبح من المعقول تماما أن كريات التكتيت هي والاصطدام بالمذنبات يتفق حدوثهما معا.

وتفترض هذه المحاجة أن المذنبات تسطع عشوائيا في الجزء الداخلي من المنظومة الشمسية. على أن الحال قد،لا تكون كذلك، حيث إننا نقوم برحلة ليس حول الشمس فحسب وإنما أيضا حول المجرة بأسرها. والظروف تتغير ويصبح احتمال انحراف المذنبات أكبر في فترة معينة عن الأخرى.

إن الأحداث التي تعنينا في هذه الدراسة هي الأحداث التي تشكل كوارث للكرة الأرضية. ويشمل هذا وقوع اصطدامات بمذنبات أولية. والمذنبات تتفتت وهي تكرر القيام برحلتها حول الشمس؟ فمذنب هالي يصبح أصغر حجما في كل مرة كلما تخلفت المادة منه منفصلة إلى ذيله. والمذنب الذي أصابه التفتت يكون لديه مدى أعظم وفرصة أكبر لأن يرتطم بنا، على أن النتائج تكون أقل شدة بما يناظر درجة تفتته. وواقعة تنجوسكا خير مثل على ذلك. وفي الحد الأقصى نلاقي الحطام المتخلف من المذنبات الميتة كل سنة في الوابلات السنوية للشهب.

العصر	كريات التكتيت
البليوستسوسني	
1	استراليا - ساحل العاج 1.2 ± 0.2 / 0.7 ± 0.1
البليوسيني	
13	مولدافيا 14.7 ± 0.7
الميوسيني	
25	زجاج الصحراء الليبية 28.6 ± 2
الأوليجوسيني	
36	بيديا سيت 34.7 ± 2
الأيوسيني	
58	
الباليوسيني	
63	
الطباشيري	

شكل (5-2) أعمار كريات التكتيت مقارنة بالعصور الجيولوجية (كما قدرت عام 1973)

وهكذا فعندما نسأل: «ما احتمال الارتطام بمذنب؟»، فإننا نضع الحجم مقابل الاحتمال. فنحن نرتطم بقطع من حجم صغير في كل عام. أما المذنبات الكاملة فيحدث الارتطام بها مرة كل 10 ملايين سنة أو ما يقرب من ذلك. وقد نرتطم بوحش حقيقي مرة كل مائة مليون سنة، وعندها فإن النتائج ستكون حقا كارثة. وتشير حسابات يوري إلى أن تشتت الطاقة المدموجة يمكن أن يبخر المحيطات ويؤثر تأثيرا خطيرا في ظروف المناخ عبر الكرة الأرضية كلها.

المذنبات والتغيرات الجيولوجية الحديثة

يتلاءم أصل كريات التكتيت تماما وما أوردته نظرية يوري عن الغزو بالمذنبات. ولكن هل هذا صحيح؟ إن الاصطدام بمذنب يمكن أن يدمر الصخور، وبالتالي فإنه يفسر كريات التكتيت، لكنه سيوقع الفوضى في أشياء أخرى كثيرة. ومن المؤكد أن السجل الجيولوجي سيظهر ولا بد من الدلائل على هذه الأحداث المتفردة.

لقد نشر يوري فكرته لأول مرة في مجلة «ساترداي ريفيو أف ليتواتشر»، ولكنه عقب على ذلك في وقت لاحق بقوله «في حدود ما أعرف فإنه لا يوجد أي عالم يقرأ هذه المجلة سواي. ونتيجة لذلك طور فكرته في دراسة نشرها في المجلة العلمية الشهيرة «الطبيعة» Nature، وذلك في مارس 1973. وافترض يوري أن كريات التكتيت ليست سوى نتيجة واحدة من نتائج الاصطدام بالمذنبات.

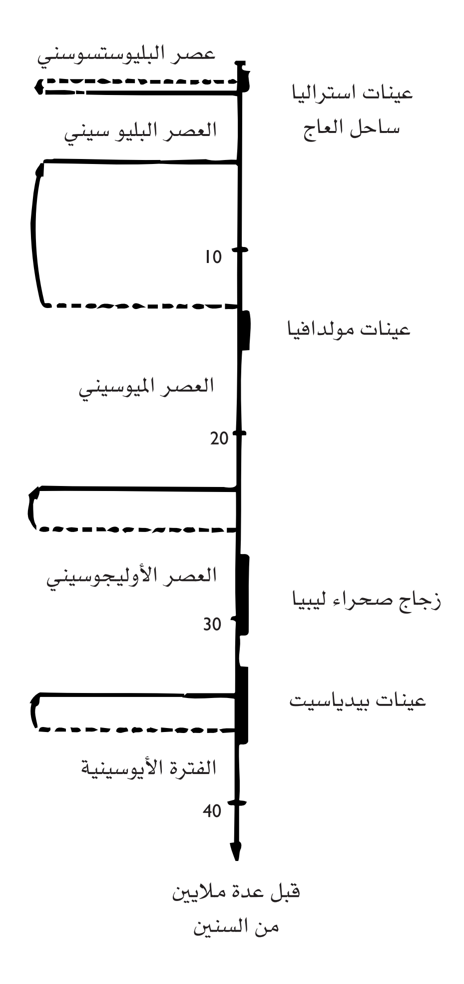
ومضى لأبعد من ذلك فاقترح أن هذه الاصطدامات نجمت عنها التغيرات الرئيسية التي نصورها الآن على أنها نهاية العصور الجيولوجية. وفي حدود ما أعلم فإن هذا كان أول اقتراح لتقييم «كمي» لهذه الوقائع الدرامية. وقد قام الفاريز فيما بعد بدراسات عن الحد الفاصل ما بين العصر الطباشيري-والثلاثي وصلته بزوال الديناصورات، وقد نشأت دراسات الفاريز هذه جزئيا عن اقتراح يوري. فيوري طرح بوضوح هذه الصلة بالاصطدام بالمذنبات بوصفها مصدر زوال الديناصورات، مؤسسا ذلك على النجاح «الظاهر» لمقابلته بين نظريته عن كريات التكتيت ونهاية العصور الجيولوجية. (وأقول النجاح «الظاهر» لأن التطورات التي حدثت منذ ظهور نظريته تضع

هذا الجزء من نظريته موضع التساؤل) وفي المقارنة الواردة في شكل (5-2) يسجل العمود الأيمن قائمة العصور الجيولوجية وفترات الانتقال بملايين السنين. ويسجل العمود الأيسر قائمة أعمار كريات التكتيت. وهذه هي المعطيات كما ظهرت في بحث يوري-أما أعمار كريات التكتيت فقد أخذت من بحث نشره س. ديوراني عام 1971 على حين أتت الأزمنة الجيولوجية من كتاب يعد أحد المراجع الرئيسية في هذا الحقل نشره عام 1961. والواقع أن هناك تطابقا مغريا بين كريات التكتيت ونهايات العصور الحديثة.

فعينات أستراليا وساحل العاج تتطابق مع أحدث تغير. وتكاد عينات مولدافيا وزجاج ليبيا تتطابق مع فترات انتقال العصور من الميوسيني إلى البليوسيني، ومن الأوليجوسيني إلى الميوسيني حسب الترتيب. أما عينات بيدياسيت فتطابق بالضبط نهاية الفترة الأيوسينية. هكذا كانت تبدو الأمور في عام 1973. على أنه قد حدثت من ذلك الوقت المراجعات المهمة للتواريخ المتفق عليها للعصور الجيولوجية.

وثمة اتفاق إلى حد كبير بشأن أعمار الصخور، وأعمار كريات التكتيت، ولم يحدث فيها إلا تغير هين جدا، إن كان قد حدث تغير على الإطلاق. على أنه مع تحسن معرفتنا بالصخور فقد تحسنت أيضا قدرتنا على تقسيمها إلى أقسام فرعية، وهكذا تغيرت الحدود الفاصلة المتفق عليها ما بين العصور في بعض الحالات.

فقد تحرك الحد ما بين عصر البليوستوسين والبلوسين إلى الوراء ليصبح 6 ,1 مليون سنة، مما جعل علاقة الارتباط بكريات تكتيت أستراليا وساحل العاج أقل وضوحا. وتغير الحد ما بين العصرين الميوسيني والبليوسيني تغيرا دراميا، فتقدم من 13 مليونا إلى 5 ,5 مليون فحسب. وهكذا لم تعد هناك علاقة بين كريات التكتيت المولدافية، وعمرها 15 مليون سنة، وبين تغير العصور. (انظر شكل 5- 3). ورغم ذلك فمازال الإمكان قائما لطرح فكرة أن كريات التكتيت هي النتاج المترتب على الاصطدام بأجرام من خارج الأرض على أن الذهاب لأبعد من ذلك وجعلها في علاقة ارتباط بأحداث جيولوجية رئيسية أخرى أمر مختلف تماما. وتتعلق أشهر محاولة لفعل ذلك بالعصرين الطباشيري-الثلاثي وموت الديناصورات.



شكل (5- 3) مقارنة بين كريات التكتيت والعصور (1987). حقول التكتيت الرئيسية موضحة إلى اليمين حسب أعمارها (بملايين السنين) بما يتضمنه ذلك من عدم التأكد من هذه الأعمار. وإلى اليسار مقارنتها بفترات الانتقال بين العصور. والخطوط المتقطعة بين تواريخ فترة الانتقال حسب كولب (1961)، والخطوط المتصلة هي عن سنلنج (1987) والأسهم وتبين التغيرات. أما علاقة الارتباط التي لاحظها يوري بين تواريخ فترات انتقال كولب (الخطوط المتقطعة) وبين أعمار كريات التكتيت (الأسود الغليظ) فقد اختفت.

آثار أقدام من خارج الأرض

لا تتوزع العناصر الذرية كلها بشكل متساو على الأرض. فالكربون والأكسجين والنتروجين هي المادة المألوفة للحياة، والحديد هو العنصر الثقيل الأكثر استقرارا في الكون وهو مادة الصدأ، أما الذهب والبلاتين فإن ما لهما من ندرة يجعلهما نفيسين.

والبلاتين هو واحد من مجموعة المعادن النادرة-هي البلاتين والإيريديوم والأورميوم والروديوم-وهي نادرة بمثل ما أن أسماءها غير مألوفة. ولكنها منتشرة نوعا في المادة العادية للمنظومة الشمسية والنيازك. والواقع أن هناك اتفاقا بين علماء الجيوفيزياء على أن التركيزات القليلة لمجموعة البلاتين في التربة والرواسب المحيطة بالحفر قد نجمت عن النيازك التي مرت عبر الغلاف الجوي. وحتى في الأماكن التي دمرت فيها الحفر منذ عهد بعيد بفعل التآكل ونمو النباتات، فإن تركيز معادن مجموعة البلاتين مازال يكشف عن المكان الذي حطت فيه النيازك على الأرض.

وقد قرر لويز الفاريز أن يبحث عن هذه المعادن في الرواسب الواقعة عند الحد الفاصل ما بين طبقات العصرين الطباشيري والثلاثي. فإذا كانت الصخور التي عند نهاية العهد الطباشيري، حيث كانت الديناصورات تجوب الأرض، هي والصخور التي عند العصر الجديد (الثلاثي) مفصولة عن بعضها البعض بطبقات الطفل التي تحوي هذه المعادن النادرة، فإن هذا سيدعم الرأي القائل بحدوث اصطدام، وقد قرروا أن يبحثوا عن الأيريديوم لأنه يسهل الكشف عنه حتى ولو كان في تركيزات منخفضة.

ولما كان الفاريز عالم فيزياء نووية فقد عرف كيف يقوم بهذا البحث، إذ وجه للمادة التي يبحثها إشعاع نيوترونات. وأنت عندما توجه نيوترونات بطيئة إلى كميات كبيرة من اليورانيوم فإنها يمكن أن تطلق الطاقة بما يثير كارثة-أي قنبلة ذرية. على أن إطلاقها على الأيريديوم لا ضرر فيه. فالطاقة ستنطلق في شكل أشعة جاما، وهو شكل من الضوء أقوى من أشعة إكس. وأشعة جاما المنبعثة من الأيريديوم يسهل تعرفها بسهولة تعرف توقيع شخص ما.

وذلك تكنيك يصل إلى درجة من الحساسية تمكنك من أن تكشف عن الأيريديوم حتى ولو كان موجودا فحسب في آثار من أقل قدر. وينبغي أن

تكون حريصا جدا لتتأكد من أنه لا يوجد من حولك أي مصدر آخر للأيريديوم يمكن أن يلوث هذا البحث الرهيف. ولما كان الأيريديوم جد نادر، فربما تصورت أنه لا داعي لهذا القلق ولكن الأمر ليس كذلك.

ففي عام 1981 ظن ألفاريز أنه قد حصل على الدليل على أن الأيريديوم مترسب في العينات الموجودة في الفترة الفاصلة ما بين العصرين الطباشيري والثلاثي في مونتانا. على أن مصدر الأيريديوم لم يكن قط من هناك وإنما كان من خاتم زواج يرتديه أحد الفنيين الذين أعدوا العينات للتحليل. فالبلاتين الذي في الحلي يحوي ما يقرب من 10 في المائة من الأيريديوم كعامل صلابة. وإذا فقد خاتم بلاتين عشر كتلته في ثلاثين عاما، وهو أمر نمطي إلى حد كبير، فإن متوسط الخسارة في كل دقيقة يكون أكبر بمائة مرة من حساسية القياس في تجربة ألفاريز. وقد بينت الاختبارات صدق ذلك أيضا بالنسبة للخواتم الذهبية. إن من السهل جدا تلويث العينات، وهكذا أصبح ألفاريز شديد الحرص بهذا الشأن. ولقد ثار خلاف حول ما إذا كانت الظاهرة موجودة أم لا، لكن من المتفق عليه الآن أن الظاهرة موجودة على نحو شبه مؤكد. وإليكم الطريقة التي أمكن بها لألفاريز أن يجد الدليل.

في جبال الإبنين بشمال إيطاليا توجد طبقات مكشوفة من صخور رسوبية تمثل الفترة من العصر الجوراسي القديم حتى العصر الإليجوسيني، أي من 185 مليون سنة حتى 25 مليون سنة خلت. وتحوي هذه الفترة نهاية العصر الطباشيري وابتداء العصر الثلاثي في شكل حجر جيري وردي يتخلل الطفل طبقاته. ويصبح التغير المفاجئ في طبيعة الحياة مرئيا بوضوح عندما نضع عينات من طبقة الفترة الفاصلة تحت الميكروسكوب. ففي الطبقة الطباشيرية مثلا هناك مثقبات Formanini fers(*3) حجمها نحو ملليمتر واحد. وتختفي هذه المثقبات فجأة عبر الفترة الفاصلة ليحل محلها جنس مختلف، يقل حجمه عن عشر الملليمتر.

وفي القطاعات المكشوفة جيدا، تكون طبقات الحجارة الجيرية التي من العصرين مفصولة بشريط من الطفل سمكه نحو 1 سم. ولا توجد حفريات في الطفل، وهكذا فإنه لا يمكنك أن «ترقب» الانقراض أثناء

(*3) حيوانات بحرية دنيا مثقبة بالأصداف. (المترجم)

حدوثه. وبدلا من ذلك يتخذ الأمر منحى أنك «تراه هنا، ولا تراه هناك».

لقد أخذ ألفاريز عينات من طبقة الفترة الفاصلة عند ممر بوتاسيون بالقرب من جوبيو في أومبريا بشمال إيطاليا. ويكشف الممر عن صخور في مدى يقرب من 400 متر تغطي كل العصور. واختار ألفاريز عينات شتى من الصخور الطباشيرية، وبعض عينات من الصخور الثلاثية ثم العينات الحاسمة التي من طبقة الفترة الفاصلة. وكان السؤال الرئيسي هو ما إذا كانت المواد الكيماوية في طبقة الفترة الفاصلة تختلف اختلافا بينا عن الكيماويات التي في الصخور الأخرى، وبالذات إذا كانت هناك علامات على وجود الأيريديوم.

وركز ألفاريز على 28 عنصرا ظهرت بوضوح في العينات. وكانت الكميات النسبية لسبعة وعشرين منها متماثلة جدا خلال مجموعة الصخور كلها تمثل 155 مليون سنة من الزمان. وكان العنصر الثامن والعشرون هو الذي برز على نحو شاذ: وهو الأيريديوم. لم يكن هناك منه غير آثار باهتة في الصخور التي تحت وفوق الفترة الفاصلة، ولكننا نجد أثناء عبور هذه الفترة أن نسبة الأيريديوم ترتفع فجأة بعامل تضاعف مذهل هو 30 ضعفا. وليس من عنصر من العناصر الأخرى يتضاعف في طبقة الفترة الفاصلة هكذا. وبالتالي لم يعد هناك أدنى شك في ترسب الكثير من الأيريديوم في زمن الكارثة.

وذلك هو الشيء المتوقع إذا كان سبب الانقراض هو غزوا من خارج الأرض. على أنه لا يمكنك أن تستنتج من ذلك مباشرة أنك قد حصلت هنا على برهان مطلق. فهناك احتمال أن يكون القدر قد قام بحيلة قاسية وأن ظروفا شاذة في الجيرة سببت ترسيب الأيريديوم في هذه السنتيمترات الحاسمة من الممر التي تصادف أن «تماكنت» مع طبقة الفترة الفاصلة.

ولحسن الحظ أن ممر بوتاسيون ليس هو المكان الوحيد الذي يظهر فيه ذلك في طبقة الفترة الفاصلة ما بين الطباشيري-الثلاثي. وحتى يختبر ألفاريز ما إذا كانت الزيادة الشاذة في تركيز الأيريديوم ليست مجرد مصادفة فإنه حلل رواسب من عمر مماثل في أماكن أخرى.

ومن أفضل الأماكن المعروفة التي تظهر فيها طبقة الفترة الفاصلة في شمال أوروبا صخور الجرف البحري عند ستيفينس كانت على بعد 30 ميلا

جنوب كوبنهاجن. والطبقة الطباشيرية هنا تتألف من طباشير أبيض وطبقة الحد الفاصل متميزة بترسب الطفل في سمك مقداره 35 سم. وفي هذا الموقع الدنماركي أمكن دراسة 48 عنصرا مختلفا، وهذا أكثر من نصف عدد كل العناصر الموجودة في الأرض. وكما في العينة الإيطالية فقد زاد تركيز الأيريديوم زيادة مثيرة في طبقة الفترة الفاصلة. بل إن الحقيقة أن الأيريديوم في العينة الدنماركية زاد بما هو أكثر من مائة ضعف.

وقد وجدت نتائج مماثلة في نيوزيلندا حيث تبين أن الأيريديوم في طبقة الفترة الفاصلة عند «وود سايدكريك» أشد كثافة مما في الصخور الأخرى بعشرين مثلا. فما من شك في أن الظاهرة حقيقية وأنها منتشرة في العالم.

ويرى بعض علماء الجيولوجيا أن بعض الثورات البركانية تنفث صخرا مصهورا يكون توزيع العناصر فيه هكذا. (ثمة مسح تفصيلي جيد بهذا الشأن في مقال بمجلة «الطبيعة» 1987 كتبه س. ب. أوفيسر وزملاؤه). ويتركز جانب من النقاش حول ما إذا كان الأيريديوم قد تم ترسيبه عبر فترة ممتدة كما في النظرية البركانية، أو يتم فجأة كما في نظرية الاصطدام.

وأحد الملامح الموجودة في طبقات الفترة الفاصلة في كل من الموقع الإيطالي والدنمركي هو وجود طبقة طفل يبلغ سمكها نحو 1 سم. ويرى ألفاريز أنها قد صنعت من مواد هبطت من الطبقات العليا للغلاف الجوي إثر الاضطراب الناجم عن الاصطدام. ويعترض علماء الجيولوجيا على ذلك بالقول إن هذا فيه سذاجة، والجيولوجيا علم لا يقل تعقيدا عن الفيزياء- وعلماء الفيزياء يمتلكون ناصية فيزيائهم بحق ولكن هذا لا يجعلهم خبراء في الجيولوجيا. ومن الممكن أن تكون لطبقات الطفل أصول «عادية» تماما.

وهكذا يظل لدينا سؤالان، كل منهما مازال موضع نقاش ساخن: هل تم قتل الديناصورات عن طريق هذه الكارثة؟ وهل نجمت الكارثة عن انفجار من خارج الأرض؟

ولو ركز المرء على زوال الديناصورات مع استثناء كل شيء آخر فإنك قد تعتقد سعيدا أن الملامح العريضة للانقراض تتفق مع فكرة أنه كانت هناك ظلمة امتدت زمنا نتيجة لوجود غبار في الجو سواء من اصطدام أو من ثورة براكين. على أن الكرة الأرضية كانت تحوي وقتها ما هو أكثر بكثير من

الديناصورات، وهذا يثير هواجس كثيرة بشأن التفاصيل. فعلى سبيل المثال، تمكنت النباتات الاستوائية من البقاء رغم أننا قد نتوقع أنها ستعاني من نقص الضوء أكثر من غالبية الكائنات الأخرى، وقد ذكر لي أحد علماء الحفريات أن لديه حفريات زواحف تزن عشرات عديدة من الأطنان ظلت باقية بعد الكارثة. فكيف حدث ذلك ؟ ولماذا كان الانقراض شديد التخير هكذا؟

ويلفت نقاد نظرية الاصطدام النظر إلى أن هناك علامات على أن عملية الانقراض لم تكن مفاجئة وإنما امتدت عبر بضعة آلاف من السنين- على أنه عندما يكون القياس على مدى يصل إلى 60 مليون سنة فإن آلافا معدودة من السنين قد ترجع ببساطة إلى أخطاء متعلقة بأخذ العينات.

على أنه إذا لم يكن هناك اصطدام، فمن المؤكد أن الطبيعة قد تآمرت ليبدو الأمر وكأنه قد حدث اصطدام. فأولا، إذا كان الأيريديوم في طبقة الفترة الفاصلة قد أتى من كويكب، فإنك تستطيع تقدير وزنه. ويصل ذلك إلى بليون طن أو إذا قدرناه بطريقة أسهل تصورا فإن كتلة الصخر سيكون قطرها نحو خمسة أميال.

وثانيا، إذا كان الطفل ناجما عن الغبار الذي قذفه الاصطدام عاليا فإننا نحصل على تقدير مماثل لحجم الصخرة التي سببت هذه الفوضى.

وثالثا، تظهر المعادن النفيسة الأخرى في الطفل الدنمركي، مثل الذهب والنيكل والكوبلت، بكميات تفوق كثيرا توزيعها المعتاد في الأرض، بما يجعل حجم الصخرة يصل من حيث العرض إلى 8 أميال. وكل هذه الأرقام تصل بنا إلى قدر متماثل، وما من شك أننا لو ضربنا بانفجار كهذا، فمن المؤكد أنه سيوقع الفوضى في البيئة على نحو كارثي.

ورغم أن هذه الدلائل يمكن أن تكون ظرفية الطابع فإن وجود أي نوع من الأدلة بعد مرور60 مليون عام يعد شيئا له أهميته. وأنا أعرف شخصيا عالم فيزياء محترما يؤمن إيمانا راسخا بأن القضية قد تم إثباتها، وعالم حفريات مشهورا يؤكد أن الحكم هو «غير مذنب». وحكمي أنا أن الاتهام «لم يثبت». على أن هناك أمرا واحدا نتفق عليه جميعا وهو أن البحث في هذه المسألة ينبغي أن يستمر، فهو يخلب لب الشباب ويحفزهم على أن يصبحوا علماء، ولعل فيه ما يجعلنا نثوب إلى رشدنا ونتذكر ما يمكن أن

يحدث لنا لو تم تغيير بيئة الأرض تغيرا عنيفا، سواء كان ذلك لأسباب من خارج الأرض أو لأسباب من صنعنا نحن. لقد اندثرت الديناصورات بعد 150 مليون سنة، وكانت المخلوقات السائدة في عصرها، وسيطرنا نحن على الأرض لمدة هي مجرد مليون سنة-وليس هناك ما يضمن أننا باقون هنا للأبد.

الجزء الثاني
أقرب نجم

٦ أشعة الشمس حياتنا

نحن نعيش على بعد ستة أميال أسفل مظلة من الهواء وبخار الماء وغازات شتى نسميها «الجو». وتحدث التغيرات المناخية حينما يضطرب توازن طاقة الأرض. والشمس هي المصدر الأساسي للطاقة، وهي التي تقود دورة الجو وتتحكم في المناخ. وإذ تصطدم أشعة الشمس بطبقات الجو العليا فإنها تتشتت، أو يتم امتصاصها أو إعادة بثها بوساطة ما هناك من جزئيات كما تصيبها تغيرات كثيرة وهي في طريقها إلى الأرض وإلى الهواء الذي يدور في طبقات الجو السفلي والذي يؤثر فينا مباشرة.

ولسطح الأرض دوره الذي يقوم به. فالبحار تعمل كمستودعات للحرارة، والجبال والوديان تؤثر في انسياب الهواء. والتفاعل ككل معقد جدا، ولم يصبح علم الأرصاد الجوية علما أكثر موثوقية إلا حديثا جدا مع ظهور الأقمار الصناعية ذات الاستشعار البعيد. وأي اضطراب يمكن أن يحدث تغيرات مفاجئة ذات شأن. وتغير غازات عوادم السيارت هي والإيروسولات من كيمياء الجو وتبدل التوازن الحراري. وإذا حدث تغير في إنتاج الشمس أو حدث ما يعترض إشعاعها فإن تأثيرات ذلك في

الأرض قد تكون تأثيرات درامية، كما حدث في العصور الجليدية. ولما كانت الشمس هي المصدر الأساسي للطاقة فسوف أركز على سلوكها وكيف يمكن أن تؤثر فينا.

إننا ندور حول الشمس مرة كل سنة، ونخبر خلال ذلك التنوع المناخي الذي نعرفه ويلف سطح كوكبنا بسرعة ألف ميل في الساعة الواحدة، وندور حول أنفسنا مرة كل 24 ساعة للداخل ثم الخارج من ظل الشمس ولهيبها. ويسخن الجو ويبرد، ويضطرب ثم يستقر ثانية.

ويوما بعد يوم ندور حول الشمس. ومسارنا ليس في دائرة كاملة بل ينحرف قليلا في قطع ناقص. وفي يناير نكون أدنى للشمس بأقرب قليلا من شهر يوليو، ومن ثم يكون صافي التسخين أكثر عند انتهاء السنة عنه في منتصفها. وهو تأثير بسيط عند مقارنته بتأثير ميل القطبي، الذي يتقدم بنا تجاه الشمس بما يجعلها عالية في السماء أثناء الصيف ثم ينحرف بنا بعيدا أثناء شهور الشتاء حيث تصبح الشمس منخفضة.

وخلال الوقت الذي نميل فيه لأعلى ثم لأسفل مرة واحدة، نكون قد درنا حول الشمس دورة واحدة، وهكذا تكون قد مرت سنة. وبعض النقط على المدار لها أهمية خاصة لأننا عندها نمر خلال مدار بعض رفاقنا في الدوران حول الشمس-أي حلقات الصخور التي تحترق عاليا في الجو كشهب. وستظل الحال هكذا عاما بعد عام إذا تعادل كل ماعدا ذلك. وقد تكون هناك تراوحات إحصائية-أيام حرارة زائدة، أو عواصف عنيفة عنفا زائدا-ولكن ما من شيء جديد على نحو فريد.

ولكن هذه ليست كل القصة. فنحن ندور حول نجم يقوم هو نفسه بدورة كبرى حول المجرة. وتستغرق الشمس 200 مليون سنة من سنواتنا حتى تكمل سنة مجرية، وهي بالطبع تأخذنا معها في رحلتها. وخلال هذه الدورة نمر عبر مشاهد منوعة، وهناك فترات من الهدوء، كما هي الحال الآن، حيث لا يوجد الشيء الكثير من حولنا، وهناك فترات تقترب فيها نوعا نجوم أخرى. وبصفة دورية من خلال أذرع المجرة اللولبية-سحب كثيفة من الغبار حيث تتشكل نجوم جديدة. وإذا كانت الأرض تمر من خلال حلقات الصخور الشمسية في أيام معدودة، فإن اللقاءات المجرية يزيد زمنها كثيرا على ذلك. فالمرور من خلال سحب الغبار يستغرق مليون سنة، ويمكن لهذه

السحب أن تعتم الضوء، وأن تدخل إلى الشمس، وتغير من توليدها للحرارة، وتغير بهذا مناخ الأرض تغيرا ملحوظا. ويرى بعض علماء الفلك، ولكن ليس كلهم، أن العصور الجليدية العظمى هي نتيجة لذلك: أي أنها تناظر على نطاق المجرة وابلاتنا السنوية من الشهب.

ولقاؤنا القادم بأحد الأذرع اللولبية للمجرة بعيد جدا، وفي حدود ما يمكننا قوله فإن الطريق الذي نسير فيه يعد خاليا إلى حد كبير لعدة ملايين قادمة من الأميال. (نحن في لحظتنا هذه نمر من خلال ضباب رهيف من غبار ما بين المجرات، ولكنه لا يؤثر فينا تأثيرا ملحوظا). على أن هناك احتمالا لأن تحدث تغيرات داخل الشمس قد تؤثر فينا على المدى القريب.

ونحن ننظر للشمس كشيء مضمون، ولكن أي شيء يحجبها عنا سيصيبنا بالضرر. وأصحاب نبوءة الشتاء الذري قد بينوا ذلك بوضوح، وقد يكون في استطاعتنا أن نختبئ بعيدا عن الإشعاع النووي بأن نخرم أنفاقا تحت الأرض مثل الخلد، ولكن حرائق الغابات والمدن سوف تلف الكرة الأرضية بغطاء من الدخان وتحجب عنا أشعة الشمس. ويعتقد العديد من العلماء أن هذا يمكن أن يمثل نهاية الجنس البشري. فحتى لو لم نصب أنفسنا بالظلام، فإن الطبيعة يمكنها أن تحجب عنا الضوء.

وأذكر أني رأيت وأنا طفل بقعة على الشمس في يوم ساده الضباب، وأذهلني اكتشافي هذا. وكان الأطفال كلهم في فناء المدرسة ينظرون إلى البقعة واندفعوا خارجين من حجراتهم الدراسية وقت الغداء ليروا إذا كانت البقعة مازالت هناك. وكانت البقعة باقية لا تزال، وبدت في تصوري أكبر مما كانت من قبل. كنت متأكدا من أن تلك البقعة المظلمة تزيد حجما وسوف تمحو الشمس محوا. وانغرس في الذعر من فكرة أن تختفي الشمس، ذعر من النوع الذي لا بد أن المجتمعات البدائية كانت تشعر به عندما يرى أفرادها الشمس وهي تتآكل تماما في كسوف كلي. على أنه مثلما كانت الحال معهم، لم يكن هناك في الحقيقة ما يدعو إلى جزعي. فالبقع الشمسية تظهر بانتظام، وتصل لذروتها كل ١١ سنة أو ما يقرب من ذلك.

وتلام البقع الشمسية على أشياء كثيرة. فهناك دعاوى بأنها تؤثر في الطقس وحتى في نتائج الانتخابات السياسية. فالتغيرات التي تحدث في

الشمس يمكن أن تترك علاماتها على الأرض-بالمعنى الحرفي لذلك. وتمكننا هذه العلامات من أن نرى كيف كان سلوك الشمس طيلة 700 مليون سنة.

إن الشمس هي أقرب نجم للأرض. وهي قريبة بما يكفي لأن نرقبها بالتفصيل وأن نتعلم كيف تعمل النجوم. ويعتمد بقاؤنا كله على الشمس، وهكذا فكلما فهمنا طرق عملها فهما أفضل كان تدبرنا لمستقبلنا المباشر تدبرا من موقف أفضل. على أن المشكلة هي أن أفضل نظرياتنا لا تتلاءم تلاؤما كاملا مع كل شيء، وثمة إشارات مزعجة بان الشمس، هي أو شيء ما آخر، تسلك سلوكا مضللا. فما مدى ما نعرفه عن ذلك؟

قياس الشمس

نحن نعرف مدى بعد الشمس عنا. وفي الفصل الثالث عرفنا كيف تم قياس ذلك. لقد تطلب الأمر ارتداد الرادار من الزهرة لنعرف مدى بعد ذلك الكوكب ثم قارنا بين الوقت الذي تستغرقه الزهرة لتدور حول الشمس وبين سنتنا الخاصة بنا. فإذا ما وضعنا هاتين المعلومتين فسنخرج بأن المسافة إلى الشمس هي نحو 100 مليون ميل.

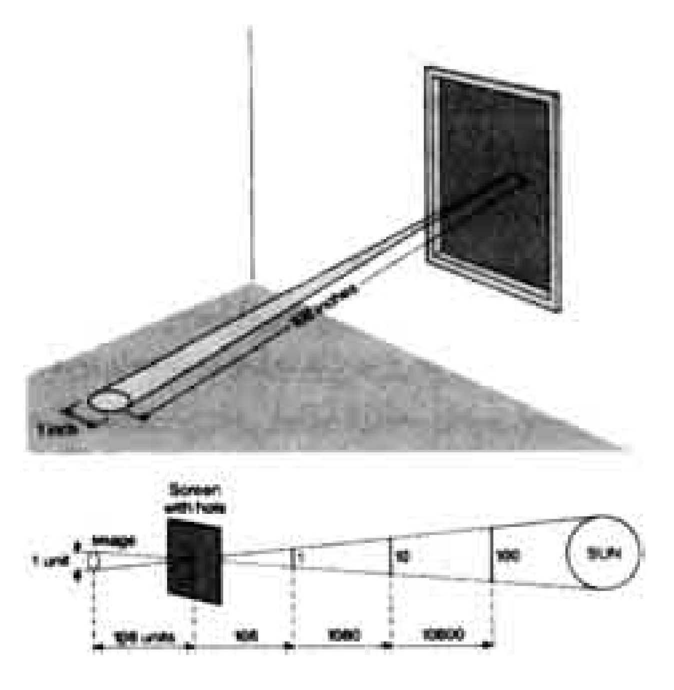
وحجم الشمس كما تتراءى لنا من هنا لا يتعدى حجم ظفر الإبهام عند النظر إليه على امتداد الذراع. وبما أن الشمس أبعد من ذلك بما يقرب من 100 مليون مثل، فإنه يمكننا أن «نقيس» قطرها على أنها 100 مليون مثل لظفر الإبهام-أي أنه 900 ألف ميل، أو ضعف قطر الأرض بنحو 120 مرة.

وثمة تجربة بسيطة تعطيك قياسا أكثر دقة لحجم الشمس (انظر شكل 6-1). ففي يوم شمسه ساطعة قم بتغطية زجاج نافذة تواجه الجنوب بحاجز حاجب للضوء، وأحدث فيه ثقبا ضيقا. سترى على الأرضية صورة للشمس. قس حجم الصورة بدقة وقس المسافة إلى الثقب الضيق أيضا. ستجد أن المسافة هي أكبر من قطر الصورة بـ 108 أضعاف. ولا يهم هنا مدى كبر حجم الغرفة: ففي الغرفة الصغيرة تلقي الشمس بصورة صغيرة بينما في الغرفة الكبيرة تكون الصورة أكبر بما يناسب. فإذا كانت غرفتك كبيرة بما يقرب من 100 مليون ميل، فإن حجم الصورة سيكون مماثلا للحجم الحقيقي للشمس. وتبين الهندسة البسيطة أن الصورة ومسافة البعد يكون بينهما دائما هذه النسبة نفسها. وهكذا فإن قطر الشمس قدره «1 على 108» من

مسافة بعدها عنا، وبالتالي فهو يقرب من 900 ألف ميل (وعلى هذا فإن الحسبة القائمة على فكرة ظفر الإبهام كانت صالحة إلى حد كبير).

وهكذا أصبحنا نعرف قدر المساحة التي تشغلها الشمس. فما وزنها؟

إن التفاح وكرات البرد تتساقط إلى الأرض. والأرض ونحن من فوقها تهوي إلى الشمس بسرعة تقرب من 3 ملليمترات في كل ثانية. ونحن أيضا نتحرك للأمام مسافة عدة أميال في كل ثانية، والنتيجة الصافية لذلك هي أننا ندور حول الشمس في شبه دائرة هائلة يتم اكتمالها في كل سنة.



شكل (6- 1): حجم الشمس. (أ) قياس حجم الشمس خلال ثقب ضيق في حاجز (ب) قطر الشمس 1 على 108 من مسافة بعدها عن الأرض. مقياس 1 إلى 108 يمكن رؤيته في صورتها من الثقب الضيق حيث حجمها هو دائماً 1 على 108 من مسافة بعدها عن الثقب الضيق. والهندسة البسيطة تبين أن هذا يصدق على حجم الشمس الواقعية بالنسبة لمسافة بعدها عنا.

وعندما تسقط تفاحة من غصن عال فإنها تسقط بسرعة 16 قدما في الثانية الأولى، وهي سرعة توازي 1500 ضعف سرعة سقوطنا إلى الشمس

في الثانية. وسبب ذلك أن مركز الأرض لا يبعد عن التفاحة إلا بأربعة آلاف ميل بينما جاذبية الشمس تمتد عبر 100 مليون ميل. والجاذبية تقل في تناسب مع مربع المسافة، وهكذا فإن جاذبية الشمس تضعف بأكثر من 500 مليون مرة بالنسبة لجاذبية الأرض. ولكنها في الواقع تقل فحسب بـ 1500 مثل وسبب ذلك أن للشمس كتلة هائلة-فهي كمصدر للشد «الجذبي» أقوى كثيرا من الأرض. والواقع أنك عندما تقسم 500 مليون على 1500 يمكنك أن تحسب بأي قدر تكون كتلة الشمس أكبر من كتلة الأرض. فإذا قمت بحساباتك بحرص فسوف تجد أن كتلة الشمس توازي 330 ألف ضف لكتلة الأرض.

وبما أن حجم الشمس يبلغ نحو مليون ضعف حجم الأرض فإن بإمكاننا أن نستنبط في التو أن متوسط كثافتها هو نحو ثلث كثافتنا، أو هو مثلان أو ثلاثة أمثال لكثافة الماء. ولكن لا تجعل ذلك يحدث فيك انطباعا بأن كثافة الشمس هي هكذا في كل أجزاء الشمس. فالشمس عبارة عن كرة من غاز الهيدروجين رقيقة جدا عند الأطراف وكثيفة جدا عند المركز. وللإبقاء على وضع كهذا فإن مركز الشمس لا بد أن يكون ساخنا على نحو يفوق التصور، فتزيد حرارته على 10 ملايين درجة. ويمكننا أن نستنتج أن درجة حرارة السطح الخارجي هي 6 آلاف درجة فحسب. وهكذا فإننا بالفعل قد استنبطنا قدرا لا بأس به من المعلومات عن الشمس وهي على مدى 100 مليون ميل منا.

إن النظريات الشائعة في الوقت الحاضر تعطينا الصورة التالية للشمس من الداخل: تحوي الشمس حتى الربع من نصف قطرها، قلبا نشطا تجري فيه تفاعلات نووية حرارية تنتج عنها الطاقة الشمسية: فالبروتونات (نوى ذرات الهيدروجين) تندمج معا لتبني عناصر أثقل ولينتج عن التفاعل ناتج ثانوي من جسيمات كالأطياف تسمى جسيمات النيوترينو، وتنطلق هذه الجسيمات منسابة إلى الفضاء (انظر الفصل السابع). وتمتد من فوق هذا القلب (لما يصل إلى 70 في المائة من نصف قطر الشمس) منطقة يتم فيها إشعاع الحرارة لأعلى. والثلاثون في المائة الخارجية تدعى منطقة الحمل الحراري حيث تنتقل الحرارة بالحركة العنيفة للغازات.

وفي هذه الحرارة تكون الذرات غير قادرة على أن تظل متماسكة معا

وهكذا فإنها تتمزق إلى مكوناتها: أي إلى إلكترونات ذات شحنة سالبة ونوى ذات شحنة موجبة. وهذه الجسيمات المشحونة كهربائيا إذ تتحرك في دوامات تخلق مجالات مغناطيسية شديدة يتغير بنيانها في دورة عمرها 22 سنة. وهي تشبه قطبا شماليا لمغناطيس يقذف به للجنوب ثم يعود ثانية للشمال، بنتيجة مؤداها أنك إذا قست قوة المجال فحسب دون قياس اتجاهه فإنك ستدرك دورتين من الشدة كل منهما 11 سنة. وقوة المجالات المغناطيسية يمكن أن تتباين أثناء الدورة بمقدار عشرة أمثال، وتكون في حدها الأدنى في السنوات التي تبدو الشمس فيها ساكنة، أما في سنوات النشاط فإن المجال المغناطيسي ينبثق من خلال السطح وتنشأ عنه البقع الشمسية والتوهجات الشمسية المشتعلة.

البقع الشمسية

ثمة عقيدة نفسية كامنة في أعماقنا أن الشمس شيء كامل لا يتغير. ومنذ آلاف السنين والشمس ترصد وهي تشرق وتغرب بانتظام بل وأحيانا كان هناك من عبدها. وآثار هذه العبادة مازالت باقية معنا حتى الآن. وكان الكهنة القدماء في إنجلترا يزورون معبد ستونهنج، ومن شبه المؤكد أن المعبد كان بمنزلة حاسوب قديم لقياس الفصول؟ فبقاء الإنسان يعتمد على البذر والحصد في الوقت المناسب. بل إن تاريخ مولد المسيح-25 ديسمبر- فيه ما يذكرنا بعيد قديم، هو عيد عودة ميلاد الشمس الذي يتبع منتصف الشتاء.

وكان الأزتكيون(*) يعبدون الشمس. وإذا زرت شواطئ البحر الأبيض المتوسط أو جنوب كاليفورنيا سوف ترى الأتباع المحدثين لهذه العقيدة، وهم يتمددون بطولهم تحت أشعة الشمس.

إن تلك الدائرة الذهبية في السماء الزرقاء لترمز إلى الكمال، خلق الله. ولقد اضطهدت الكنيسة جاليليو حين سجل لأول مرة رؤية بقع على الشمس. ورغبتنا في الكمال والثبات ربما أدت بنا لأن نرى في الشمس ما لا يوجد مبرر لرؤيته فيها. فالشمس ليست ثابتة، وإنما هي في تذبذب وهي تذوي حاليا بمعدل قد ينتج عنه عنصر جليدي مصغر خلال خمسين

(*) سكان المكسيك قبل أن يفتحها الأسبان عام 1519.

عاما أخرى. وليس هذا بأمر عجيب كما قد تتصور، فالتباينات الشمسية قد سببت تغيرات في المناخ دامت عدة عقود في الأزمنة الحديثة.

وربما شكونا الآن من حالة الجو ولكن مهما كانت فصول الشتاء سيئة فإنها لا تعد شيئا بالنسبة للشتاء منذ 300 عام. ففي تلك الفترة أصيبت أوروبا بعصر جليدي مصغر. وعلى حين تنتهي الثلاجات عادة عند أعالي الجبال فإنها وقتها تخطت حدود القرى في وديان الألب. كما تجمد نهر التيمز، وثمة لوحات كثيرة من المدرسة الهولندية في القرن السابع عشر تبين المتزحلقين على الجليد فوق قنوات هولندا. لقد كان هناك شيء غير عادي يجري أثناء هذه الفترة على سطح الشمس، وقد لاحظه الفلكيون الأوروبيون والشرقيون والشرق أوسطيون.

وفي اجتماع لاتحاد الجيوفيزياء الأفريكي عقد في أوائل 1986 تم تجميع عدد من الدراسات العلمية المستقلة تتفق كلها على أن الشمس ينحدر حالها بثبات منذ 1979 فالأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض، والصواريخ، والبالونات، والقياسات التي تجرى على مستوى سطح الأرض بينت جميعا أن الشمس تذوي وتبدو هذه العملية كنزعة متصلة توجد من فوقها دورة من فترة قصيرة ربما يمكن ربطها بدورة البقع الشمسية لكن لا توجد معلومات أكيدة حتى الآن عما إذا كانت هناك حقا علاقة تربطهما أم لا.

والبقع الشمسية تأتي وتذهب، وتظل البقع الصغيرة باقية لساعات معدودة فحسب، على حين يمكن لبعض البقع الكبيرة التي يماثل حجمها حجم الأرض أن تظل باقية لشهور. وفي سنوات الذروة قد يبلغ عدد ما يحدث من البقع مائتي بقعة. وفيما بين ذلك فإن النشاط يخمد وربما لا تحدث إلا ست بقع أثناء الحد الأدنى لنشاط الدورة. وينخفض مقدار ناتج حرارة الشمس-أي سطوع الشمس-في تناسب مع مقدار المسطح الذي تحجبه البقع. وبالمقارنة بالإشعاع «الكلي» الذي يصل إلى الأرض، فإن هذا يعد تأثيرا بسيطا وفيما بعد تتم استعادة التوازن. على أن هناك الكثير مما لا نعرفه بشأن ما وراء ذلك من ديناميات. فهل تحدث زيادة في أشعة إكس ونقص في الأشعة تحت الحمراء، أو زيادة في الأشعة فوق البنفسجية ونقص في البث اللاسلكي؟ إن الأمر يبدو كما لو كانت فرقة أوركسترا هائلة قد خفتت فيها إحدى النغمات فهل خفتت الوتريات؟ أم أن آلات

الجهير المزدوج هي التي توقفت على حين زاد صوت الكمنجات قليلا؟ إننا في حاجة لأن نعرف المزيد عن ذلك لأن الأجزاء المختلفة من الطيف الكهرومغناطسي تؤثر في أجوائنا العليا بطرق مختلفة.

وقد ثار جدل كثير حول ما إذا كانت البقع الشمسية لها علاقة ارتباط بطقسنا أم لا. وإذا أردت تتبع هذا الجدل فعليك بقراءة المقالات المذكورة في باب اقتراحات لمزيد من القراءة. وعلاقات الارتباط كانت دائما مثار اختلاف رغم أن النوبة الطويلة من الطقس السيئ التي شهدتها أوروبا الشمالية فيما بين عامي 1640 و1720 تزامنت مع ما سمي «حد موندر الأدنى» فيما بين عامي 1640 , 1720 (على اسم أ. و. موندر المشرف على قسم الشمس في مرصد جرينتش). وأثناء هذه الفترة بدت الشمس بلا بقع. ويزعم بعض الناس أن أحدا لم ينظر ليبحث عنها، ولكن هذا يبدو تسطيحا للأمور، فعلماء الفلك في تلك الفترة كانوا بارعين مثل علماء أي فترة أخرى، ويبدو أن هذا الحد الأدنى للنشاط الشمسي هو أمر حقيقي.

وقد يبدو من مبتكرات الخيال أن بقعا بعيدة هكذا يمكن أن يكون لها أي تأثير فينا هنا. على أنه وعلى الرغم من أن وجه الشمس الساطع بعيد جدا عنا، فإن جوها يمتد لما بعد الأرض بمسافة كبيرة، فنحن إنما ندور «من داخل» الشمس!

والمجالات المغناطيسية داخل الشمس مجدولة في آليات معقودة. وهي تمتص للداخل منطقة السطح الساطعة وتبردها، تاركة إياها وهي مظلمة نسبيا. وهذه القوى المغناطيسية يمكنها أيضا أن ترفع عاليا جسيمات مشحونة كهربائية في نتوءات هائلة أو توهجات مشتعلة يمكن أن تكون مرئية على نحو رائع، خاصة عند الكسوف الكلي. والنتوء ذو الحجم المعقول يزن مثل وزن جبل ومع ذلك فإن مجالات الشمس المغناطيسية قوية بما يكفي لقذف هذه الكتلة لأعلى بسرعة عدة مئات من الأميال في الثانية. ومجال الشمس المغناطيسي يكون ممطوطا ثم يرتخي فجأة كالمطاط، قاذفا بشعلة شمسية متوهجة في الفضاء تهرب من جاذبية الشمس.

وأي توهجات مشتعلة تندفع نحو الأرض تجعلنا نحس بوجودها. وتمثل أنواع الشفق القطبي الجميلة على وجه الخصوص علامة ملحوظة لذلك. فالشفق القطبي ينجم عن أجزاء من ذرات (إلكترونات ذات شحنه سالبة

وبروتونات موجبة) قذفت بها الشمس ثم تفاعلت مع المجال المغناطيسي للأرض. ويقوم هذا المجال بزيادة سرعة هذه الجسيمات، وتصطدم هي بالذرات التي في جونا وتمزقها مع ما ينجم عن ذلك من ومضات ضوء.

وحتى نرى الشفق القطبي فإننا نحتاج إلى طقس صاف وأن نكون بعيدين عن خط الاستواء، والأفضل أن نكون قريبا من القطبين. ويتبدى الشفق القطبي للعيان في معظم الليالي في شمال سيبيريا، ولابلاند وجرينلاند، والاسكا، وهي مناطق لم يكن فيها وفرة من علماء الطبيعة في القرن السابع عشر. أما في جنوب تلك المنطقة فتوجد مساحات مأهولة مثل السويد والنرويج وشمال اسكتلندا، حيث يمكن أن يحدث هناك شفق قطبي بمعدل متوسط من مرة كل أسبوعين حتى ثلاث مرات في الأسبوع. وحتى في لندن يحدث الشفق القطبي مرة كل شهرين، أو 500 مرة في كل 70 سنة. وقد يتوقع المرء أنه قد حدث أثناء حد موندر الأدنى عروض للشفق القطبي في 300-1000 ليلة في هذه الأجزاء من أوروبا التي كان يعيش فيها علماء للفلك. على أنه في الفترة من 1645 حتى 1715 لم تتم رؤية سوى 77 شفقا قطبيا فقط. وعندما رأى أدموند هالي واحدا منها في 15 مارس 1716، كان هذا أول شفق قطبي يراه-وكان عمره وقتها 60 عاما وقد ظل لا يألو جهدا في رصد السماء طيلة عقود عديدة من السنين.

ولو كتبت قائمة بعدد الشفوق القطبية التي تمت رؤيتها من سنة لأخرى، فستجد فيها رسالة أخرى مثيرة للاهتمام. فهناك دوران للأرقام يبدأ من القرن السادس عشر، مع فترة توقف ملحوظة أثناء حد موندر الأدنى، وفترة التوقف هذه تسبق اندفاعه لأعلى، ما بعد عام 1716. وقد زعم بعض محبي الإثارة أن هذه الزيادة في أضواء شفق الشمال تبين أن الشمس قد ظلت تتغير تغيرا عنيفا أثناء الأربعمائة سنة الأخيرة. على أن هناك تفسيرا بديلا. فعصر النهضة في أوروبا الجنوبية أثناء القرن السادس عشر قد أدى إلى إثارة الاهتمام بالمعرفة وبالعلم على وجه الخصوص. ولكن هذا الاهتمام استغرق وقتا ليصل إلى أوروبا الشمالية، وهكذا فمن الممكن أن يكون تزايد رصد الشفق القطبي هو انعكاسا لوصول عصر النهضة متأخرا إلى خطوط العرض القطبية.

وليس من شك في أن الشمس تؤثر فينا تأثيرا مباشرا، كما يظهر ذلك

من الشفوق القطبية، وهذا بدوره له علاقة بالبقع الشمسية. والبقع الشمسية تنمو ثم تنحسر في دورات من 11 سنة. وهي تترك علاماتها على الأرض، وهي الشفوق القطبية السريعة الزوال، ولكنها أيضا تترك سجلا آخر أكثر دواما. فإذا ما تتبعنا هذا السجل للوراء فسيكون في إمكاننا أن نعرف كيف كانت الشمس تسلك حتى فترة تمتد لسبعمائة مليون سنة خلت!

الكربون 14 وتاريخ الشمس

يتم قذف الأرض باستمرار بإشعاع من خارجها: هو الأشعة الكونية. فنوى العناصر التي يتم إنتاجها في النجوم البعيدة تدور في دوامة خلال المجالات المغناطيسية للمجرة، وتقع في قبضة الأذرع المغناطيسية للأرض وتصطدم بطبقات الجو العليا. ولكنها يتم نفخها أولا بوساطة الرياح الشمسية.

وعندما تكون الشمس في حالة نشاط شديد كما في سنوات البقع الشمسية، فإنها تبعث بشعلات متوهجة وتكون الرياح الشمسية قوية. وهذه العاصفة تحمينا من الأشعة الكونية. وعلى العكس من ذلك، فعندما تكون الشمس هادئة تصل الأشعة الكونية محتشدة وتصطدم هذه الأشعة بالجو، فتحول النيتروجين إلى نوع خاص من الكربون، يسمى الكربون-14. وكل ذرات الكربون تحوي نواتها ستة بروتونات ذات شحنة موجبة. ومعظمها لها ستة نيوترونات أيضا، بما يجعل العدد الكامل لمكونات النواة 12 جسيما فيسمى الكربون كربون-12. أما الشكل غير المستقر للكربون الذي يتم صنعه بوساطة الأشعة الكونية التي في الجو فإن له ستة بروتونات كما في السابق ولكنه يحوي «ثمانية» نيوترونات-بما يجعل عدد الجسيمات الكلي أربعة عشر وبالتالي فإنه يسمى كربون-14. وهذا النوع من ذرات الكربون يسبح في الجو أساسا في ثاني أكسيد الكربون.

وتمتص الأشجار وأشكال الحياة النباتية ثاني أكسيد الكربون هذا ويتحلل الكربون بسرعة معلومة لينتهي إلى شكل الكربون المستقر أي الكربون-12. وعلى ذلك إذا كان لديك قطعة خشب ذات عمر معلوم، فإنك تستطيع كيميائيا أن تقيس الكربون-14 الموجود حاليا، وأن تعود إلى الوراء لتستنتج قدر الكربون-14 الذي تم امتصاصه أصلا. وتمثل حلقات الشجر المصدر

المثالي لذلك. فكل حلقة تمثل نحو سنة وهكذا فإن الحلقات في الأشجار القديمة يمكن أن تمدنا بسجل للمناخ، وسجل لنشاط الشمس طيلة قرون عديدة. وتعتمد نسبة الكربون-14 على العمر المعروف للحلقة وكثافة الأشعة الكونية في تلك السنة. وثمة زيادة ملحوظة في الكربون-14 أثناء فترة حكم الملك الفرنسي لويس الرابع عشر وصلت ذروتها نحو 1690-في المنتصف مباشرة من حد موندر الأدنى في دورة بقع الشمس. وقد اشتهرت هذه الزيادة في دوائر التأريخ بالكربون باسم «تراوح دي فريس». وقد لاحظ عالم فلك بمركز البحوث الجوية في بولدر بكولورادو، يدعى جون إيدي، أنه يبدو أن توافر الكربون-14 له علاقة بالفعل بالنشاط الشمسي. ومرة أخرى يتبين أن لهذا حدوده القصوى والدنيا، بما يطرح وجود دورة كبرى من مئات السنين، وإن كان من الصعب أن يتم اكتشاف دورة من عقد لأن ثاني أكسيد الكربون يستقر من الجو عبر سنوات عديدة، ويخفي تأخر دخوله إلى المادة التراوحات التي تحدث على المدى القصير.

إن بوسعنا أن ندرس مقدار محتويات الكربون-14 عبر فترات زمنية طويلة جدا، رجوعا إلى الوراء حتى نحو سنة 6000 ق. م. وتبين هذه الدراسة وجود تراوحات تمتد عبر موجة واحدة عظمى. ففي زمن الفراعنة كان الكربون-14 قليل التركيز، ثم زاد ليصل إلى ذروة في أول ألف عام قبل الميلاد. ثم انخفض في اطراد حتى السنوات المبكرة من القرن العشرين، ومن وقتها حدثت زيادة مفاجئة. ولا تعني الزيادة الأخيرة أن الشمس هي المسؤولة، بل ترتبط بحقيقة أن المجتمع الحديث يحرق وقود الحفريات بسرعة ويدخل ثاني أكسيد الكربون في الجو والذي تحوي محتوياته من الكربون-12 والكربون-14 أخلاطا متنوعة عبر العصور.

وترجع النزعة السائدة على المدى الطويل-أي الارتفاع والهبوط بمقياس زمني من آلاف السنين-ترجع إلى التغيرات التي تحدث في مجال الأرض المغناطيسي. أما التراوحات التي تحدث على المدى القصير فترجع في أغلب الاحتمال إلى تغيرات نشاط الشمس التي تسبب تغيرات في منظومة الأرض-الشمس، وبالتالي تسبب تغيرات في امتصاص الأشعة الكونية. وهكذا توجد في واقع الأمر دورة تذبذب عمرها 11 سنة، يمكن أن تؤثر أو لا تؤثر في الطقس، وتوجد تأثيرات على مدى أطول، مثل حد موندر الأدنى، لها

تأثيرها في الطقس بما يكاد يكون مؤكدا.

وهناك سؤال مهم هو: ما الذي يدور في داخل الشمس ويسبب هذه التأثيرات؟ يوافق كل علماء فيزياء الشمس على أن النشاط الشمسي تسببه قوى مغناطيسية في داخل الشمس. وهناك نظريتان أساسيتان تتبنيان على ذلك.

وتفترض إحدى النظريتين أن المجال المغناطيسي الحالي للشمس هو ما تخلف من زمن تشكيلها. وفي هذه الحالة فإن القوة المغناطيسية ستقل ببطء ويقل معها نشاط الشمس. وإذا كان الأمر كذلك، فإن طبيعة تأثيراتها في الأرض سوف تتغير عبر مدى زمني طويل: بل إن فترة من ألف عام ستكون أقصر من أن تكشف عن هذا التغير.

وتفترض النظرية الرئيسية الأخرى أن هناك دينامو داخل الشمس. وكلمة «دينامو» هي المصطلح العام الذي يطلق على أداة يتم فيها تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة من مجال مغناطيسي. وتحركات الجسيمات المشحونة في دوامات هي التي تبقي على المجال المغناطيسي عبر فترات زمنية طويلة.

وسوف تظل الدورة الشمسية باقية طيلة بلايين السنين، مع تغير قليل. ويتطلب اختبار فترات زمنية بهذا المقياس من الطول دراية بالعصور الجيولوجية ووجود علامة ما للنشاط السنوي. وقد اكتشف جيولوجي أسترالي اسمه جورج ويليامز أخيرا كيف كانت الشمس تسلك من 700 مليون سنة في العصور ما قبل الكمبرية[*1].

بالقرب من أدليد في جنوب أستراليا تقع سلسلة جبال فلايندرز. وهناك في حوض ممر ضيق تبطنه أشجار الكافور، توجد حجارة إبليزية حمراء وصخور من حجارة رملية ناعمة تسمى «تشكيل إيلاتينا». وليست هذه الحجارة ما يمكن اعتباره شيئا غير معتاد، لكن أهميتها تنبع من أنها تحمل رسالة شفرية عن الطقس قبل أن توجد أي حياة. فعند نهاية العصور الجليدية، كانت كمية الفيضان السنوية في البحيرات القديمة تزيد أو تنقص حسب متوسط الحرارة. وكانت هذه الفيضانات تسبب ترسب

(*1) العصر الكمبري هو أقدم أزمان الدهر القديم.

الرواسب التي تسمى فارف Varves، وهي تكون طبقات متميزة بمثل تميز حلقات الأشجار. وتشكيل إيلاتينا هو أحد أمثلة ذلك.

وقد قام عالم من جامعة ستانفورد بكاليفورنيا، هو ر. ن بريسويل بتحليل مفصل لطبقات من الفارف تغطي فترة زمنية من 1337 سنة. وأظهرت هذه الطبقات شواهد واضحة على وجود إيقاعات تحدث كل 11 سنة و 22 سنة، و«تجوّدها» إيقاعات دورية أبطأ كل 314 سنة، و350 سنة. وتخبرنا هذه الدورات الأبطأ بزمن وصول الحرارة إلى الأرض، وهي على علاقة غير مباشرة فحسب بمسألة دورة بقع الشمس. على أن الدورات التي من 11 سنة و 22 سنة فيها ما يوحي بشيء. وهنا يأتي الاكتشاف المثير للاهتمام. فعمر دورات بقع الشمس يبلغ في المتوسط 11 سنة ولكن مدى التغير قد يكون من القصر بحيث يصل إلى 8 سنوات أو يزيد إلى 15 سنة. ويبدو أن الساعة الداخلية للشمس تعيد الأمور إلى مجراها كل 22 سنة، بحيث إن الدورة الزمنية القصيرة تعقبها دورة طويلة. وقد وجد بريسويل أن الدورات التي في ثخانات طبقات الفارف تظهر أيضا هذا النوع من السلوك. وهي تحدث بسبب تعديلات دورة الـ 350 سنة وتفاعلها مع دورة الـ11 سنة. وقد بين بريسويل أيضا في مجلة «نيتشر» العلمية سنة 1986 أن دورة الـ314 سنة توفر إطارا يحدد قوة نشاط الذروة في دورات الـ11 سنة.

ونظريته هذه عن الدورات الأربع تتلاءم بصورة جيدة مع زيادات وتناقصات البقع الشمسية. وهو يتنبأ بزيادة مطردة في النشاط الشمسي حتى سنة 1991، وأنه ستكون هناك ذروة في عدد البقع الشمسية في هذه السنة بما يصل إلى نحو 100 بقعة. وإذا تبين صدق نبوءته فإن ذلك سيثبت أن طبقات الفارف القديمة تخبرنا بالفعل كيف تسلك الشمس الآن.

فإذا كانت دورة الشمس الآن تماثل ما حدث في كل تلك السنين التي خلت فإن نظرية «الدينامو» لا بد أن تكون نظرية صائبة. وإني لأرقب باهتمام نتيجة تنبؤ بريسويل عن البقع الشمسية في 1991. وإذا حدثت الأمور كلها حسب النظرية فإنه سيكون في وسعنا أن نتأكد من أن الشمس على ما يرام، فما من تغير كبير يحدث فيها-على الأقل-عند سطحها. على أن ثمة «إشارات» على أن شيئا غير موات يحدث هناك في الأعماق البعيدة داخل الشمس.

7 هل لا تزال الشمس تسطع؟

ظل التحديق في النجوم دائما شيئا يخلب اللب. والشمس هي أقرب النجوم إلينا وهي بوصفها كذلك تمدنا بفرصة فريدة لأن نتعلم بالتفصيل كيف سيسطع النجم. وتلك ليست مجرد نقطة أكاديمية، إذ إننا نعتمد على الشمس، وإذا انتهت الشمس فسننتهي نحن أيضا.

ونحن نعرف مدى حجم الشمس وأنها مصنوعة من نوع المادة نفسها التي صنعنا منها أنت وأنا. وثمة قطع يقذف بها أثناء توهج الشعلات الشمسية العنيفة وينفخ بها في جونا نحن، وهكذا فرغم أننا لم نزر الشمس بعد، فإن قطعا منها قد زارتنا. ونحن نعرف تكوين الشمس الكيميائي من الخطوط القاتمة التي تتخلل طيفها، ويمكننا كذلك أن نعرف ما يسود سطحها من الظروف، مثل درجة حرارتها التي تبلغ 6 آلاف درجة، ونعرف أيضا مقدار الحرارة التي تصل إلينا وبالتالي قدر الحرارة التي خرجت من الشمس. ونحاول هنا على الأرض بأقصى جهدنا أن نفي بحاجاتنا من الطاقة، بينما تصب الشمس في كل ثانية طاقة في الفضاء تكفي للوفاء بحاجاتنا لمدة مليون سنة. وقد ظلت تفعل ذلك طيلة 4,5 بليون سنة. فما مصدر إمدادها السري؟

عندما يشتعل الفحم تطلق نيرانه الطاقة المختزنة في الوصلات الجزيئية bonds: أي الطاقة الكيميائية. والطاقة الكيميائية التي تنبعث من جرام واحد من أي شيء تقريبا تكاد تكون بالمقدار نفسه. وعندما يتم تمثيل الغذاء في جسمنا فإنه يطلق الطاقة كحرارة، والانفجار الكيميائي ينجز هذه المهمة بسرعة أكبر كثيرا ولكن النتيجة الخالصة تكاد تكون الشيء نفسه.

وكان العلماء في القرن التاسع عشر يعتقدون أن النجوم تحترق بما يشبه كثيرا الاحتراق التقليدي، أي أن عناصر مختلفة تتحد معا لتشكل مركبات جديدة، ويتم في هذه العملية إطلاق الحرارة. فهذا هو ما يحدث في الاحتراق: إذ تتحد ذرات الكربون الموجودة في الفحم أو الخشب مع الأكسجين الموجود في الهواء وتتحول إلى ثاني أكسيد الكربون (الدخان) وأول أكسيد الكربون (غاز سام). وهذا التفاعل الكيماوي يطلق الحرارة.

وتمثل الجاذبية وسيلة فعالة لإطلاق الطاقة، فالشلالات على الأرض ظلت تدير العجلات وتطحن الغلال طيلة قرون. واليوم تستطيع الشلالات المتساقطة أن تولد طاقة هيدروليكية تكفي لإثارة مدينة. والمفتاح هنا هو الشد «الجذبي» القوي لكتلة الأرض، ولما كان وزن الأشياء على سطح الشمس يزيد ثلاثين ضعفا على وزنها وهي على الأرض، فإن جاذبية الشمس هي بالمثل أكثر فعالية كمصدر للطاقة. وهي تستطيع أن تولد الكثير من الحرارة بأن تتقلص بفعل وزنها هي نفسها. وهناك تمثيل جيد لذلك سمعته ذات يوم، وهو انك إذا ألقيت جالونا من البنزين في داخل الشمس فستنتج عنه طاقة تبلغ 2000 ضعف بالمقارنة بالطاقة التي تحصل عليها من إحراق الوقود.

وتتكون النجوم عندما يحدث لسحب الغاز في الفضاء أن تقع معا تحت تأثير جذبها المتبادل. وينتج ذلك السخونة المبدئية للنجوم الأولية، في وقت مبكر تماما، ولكن لو كانت هذه هي كل القصة لما بقيت النجوم طويلا. فالشمس لو كانت تولد حرارتها بهذه الطريقة لكان عليها أن تستخدم وقودها بمعدل هائل حتى تجعلنا دافئين ونحن على بعد 100 مليون ميل، ولكانت تنكمش في كل سنة بعدة عشرات من الأمتار، وهي مسافة يقطعها العداء في ثوان معدودة. وهذا الانكماش تدريجي جدا بحيث لا نستطيع

اكتشافه، ولكن لو عدنا إلى الوراء في الزمان لوجدنا أن الشمس ستكون في هذه الحالة أكبر كثيرا مما هي عليه الآن: وستكون الشمس ملء السماء كلها منذ 500 مليون سنة. إلا أن السجلات الجيولوجية تبين أن هذا لا يمكن أن يكون قد حدث، فالتمثيل الضوئي فيما يبدو ظل يحدث منذ 700 مليون سنة خلت مثلما يحدث الآن، ويدل هذا على أن سطوع الشمس لم يتغير كثيرا في هذا المدى الزمني. وأيا كان ما يزود الشمس بالوقود فلا بد أنه قادر على فعل ذلك دون أن يغير من حجم الشمس أو محتوى وقودها أي تغيير ذي دلالة على مر مئات الملايين من السنين.

ولقد حير هذا اللغز العلماء في القرن التاسع عشر. وذهب بعض المعارضين لنظرية التطور إلى أن الحل واضح تماما: «فالمفارقة» تثبت أن الأرض عمرها آلاف معدودة من السنين فحسب، كما في تفسير الأسقف أشر للإنجيل (كان الأسقف أشر قد قام في القرن السابع عشر بجمع أعمار «آباء» الجنس البشري المذكورين في التوراة وأرخ لخلق الأرض بأنه حدث على وجه الدقة في السادسة بعد الظهر من يوم 22 أكتوبر عام 4004 قبل الميلاد).

أما اللورد كلفن، وهو أحد العلماء المبرزين في عصره، فقد تناول هذه المشكلة أيضا. ووجد بدوره لغزا آخر يتعلق بالأرض، ولكنه كما سنرى يرتبط أيضا بمصدر وقود الشمس.

فكر كلفن كيف أن الأرض دافئة-300 درجة فوق الصفر المطلق-وهي في عزلتها في الفضاء الذي تبلغ برودته ما يزيد على برودة ثلاجات التجميد الشديد. إن الأرض تمتص أثناء النهار بعض الحرارة من الشمس ولكنها تعكس الكثير من ضوء الشمس إلى الفضاء ثانية. وأثناء الليل تفقد الأرض الحرارة سريعا إلى برودة الفضاء. ولا بد أن الأرض قد ظلت السنة تلو السنة تفقد الحرارة: وحسب كلفن أنه حتى تبرد الأرض من صورتها الأولى ككرة من غاز متوهج لتصل إلى الحرارة السائدة في بيئتها الآن، فإن ذلك لن يستغرق أكثر من 20- 40 مليون سنة. أما الجيولوجيون فهم يصممون في الوقت نفسه على أن الصخور التي على الأرض يبلغ عمرها ما يزيد على 100 مليون سنة. فكيف تأتى أن تكون الأرض صالحة للسكنى، وأنها ليست بالفعل أبرد مما في شتاء سيبيريا؟

وظهرت الإشارات الأولى على ما يجري في الكون أكثر بكثير مما يعرفه أفراد العصر الفكتوري مع سلسلة الاكتشافات السريعة بشأن طبيعة الذرة عند نهاية القرن. وذهل المجتمع الفكتوري باكتشاف أشعة إكس وتهديدها بالكشف عما لديك؟ تحت ملابسك. ثم اكتشف هنري بيكريل بعدها، في باريس عام 1896، النشاط الإشعاعي، أو الإشعاع التلقائي الذي يحدث من أملاح تحوي عنصر اليورانيوم. وسرعان ما قامت ماري كوري وزوجها بيير بفصل أحد العناصر وهو الراديوم، وهو عنصر له نشاط إشعاعي تلقائي هو من الكبر بحيث يجعله يبث دفئا محسوسا ويتوهج في الظلام. وكان ذلك دليلا على مصدر للطاقة جديد بالكامل، شيء يتجاوز مجرد الكيمياء. فلو استطاع المرء أن يحول الطاقة إلى قوة بكفاءة تحويل تبلغ 100 في المائة فإن الطاقة المحتواة داخل جرام من الراديوم ستكون كافية لتحريك سفينة قوتها 50 حصانا بطول الطريق حول العالم بسرعة من 30 ميلا في الساعة.

أما أرنست روذرفورد وزملاؤه في العمل في كمبردج ومانشستر بإنجلترا، وجامعة ماكجيل في كندا فقد أدركوا أن ما يحدث في النشاط الإشعاعي هو أن الذرات تنفجر، وتتغير الذرات من نوع إلى الآخر بدلا من أن تمتزج معا كما يحدث في حالة احتراق الفحم أو الخشب.

والذرات تتكون من إلكترونات خفيفة الوزن تحيط بمركز أكثر ثقلا واندماجا، هو نواة الذرة. ونواة الذرة بدورها لها بنية داخلية من جسيمات لها كتلة تسمى البروتونات والنيوترونات. والتفاعلات الكيماوية تتناول الإلكترونات التي في الأطراف، أما النشاط الإشعاعي فيتناول إعادة تنظيم البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة.

وكان في هذا ما يعد بيوتوبيا غير مسبوقة: فذرات أحد العناصر غير المفيدة، قد يتم تحويلها إلى ذرات عنصر أكثر إفادة كما أن قدرا هائلا من الطاقة ينطلق في هذه العملية. وإذا كان الأمر لم ينته على هذا النحو تماما، إلا أنه ما من شك في أن الطاقة الكامنة في نواة الذرة تزيد مليون مرة على تلك الناتجة عن العمليات الكيميائية. والجرام الواحد فيه مقدار جد كبير من الذرات بحيث إن هذه الطاقة يمكن أن تتدفق منها طيلة دهور دون أن تخمد بالفعل. ولقد أدرك روذرفورد أن هذا هو المفتاح لحل لغز كلفن: فالراديوم هو والعناصر المشعة الأخرى الموجودة داخل قشرة الأرض

تمد بمصدر إضافي للحرارة التي تدفئ الكرة الأرضية،. وهذا الدفء الإضافي سيبطئ من عملية التبريد، والنتيجة، هي أن الكوكب الأرضي قد استغرق العديد من مئات الملايين من الأعوام لتهبط حرارته إلى درجتها الحالية.

وهذا التبريد الأقل سرعة يعني أن الكوكب الأرضي يستطيع أن يعيش في المستقل لزمن أطول بمثل ما هو الآن أطول عمرا. وعندما أعلن روذ فورد ذلك في المعهد الملكي في مايو 1904 قامت الصحف بنشره بوصفه «تأجيل يوم القيامة».

وكان بين المستمعين إليه اللورد كلفن وهو من اقترح الفكرة الأصلية، وكان روذر فورد قلقا من ذلك بعض الشيء. على أنه ما أن بدأ روذ فورد الكلام حتى راح كلفن يغط في النوم. وكان روذرفورد قلقا بشأن ذلك الجزء من حديثه حيث تتضارب أفكاره مع أفكار كلفن. وأخيرا وصل إلى الجزء الحرج من كلامه وعندها فتح كلفن إحدى عينيه ونظر إليه.

وواتى الإلهام روذر فورد في الوقت المناسب فأنقذه. إذ أعلن أن لورد كلفن قد حدد عمر الأرض «شريطة» أنه لا يوجد مصدر آخر للطاقة قد تم «اكتشافه». ثم نسب بعدها لكلفن أن قوله هذا كان كالنبوءة حيث إننا «نرى الليلة أن النشاط الإشعاعي هو مصدر الطاقة الجديد». وتقول التقارير إن ابتسامة علت وجه لورد كلفن عند سماعه هذه العبارة.

والقوى الكهربائية تبقي على الإلكترونات في مداراتها البعيدة، وهناك قوى أشد بكثير تعمل في داخل النواة وتطلق طاقات هائلة عندما يحدث اضطراب في مكونات النواة: أي البروتونات والنيوترونات. ونحن جميعا ندرك ذلك تماما بسبب القوى المروعة التي تطلقها الأسلحة النووية، فالتفاعلات النووية هي التي تسبب الانفجار.

وتختلف ذرات العناصر المختلفة في عدد البروتونات التي في نواتها. والهيدروجين هو أبسط العناصر ولا تحوي نواته سوى بروتون واحد. ويليه الهليوم في البساطة ويحوي بروتونين، بينما تحوي نواة الكربون ستة بروتونات والأكسجين ثمانية. والحديد هو أكثر الجميع استقرارا في تشكيله ويحوي 28 بروتونا بينما تحوي نواة اليورانيوم المتفجرة 92 بروتونا.

والنوى التي تحوي بروتونات أكثر من الثمانية والعشرين الموجودة في

عنصر الحديد تفضل أن تنشطر أو «تنقسم» وتطلق طاقة. وهذا هو نوع العملية التي تحدث في القنابل الذرية. وعلى الطرف الأقصى الآخر حيث النوى الخفيفة مثل الهيدروجين، فإنه قد يحدث أن تتحد معا نواتان أو أكثر، لتبني نواة عنصر أكثر ثقلا ويؤدي ذلك أيضا إلى إطلاق طاقة. وتسمى هذه العملية «اندماج». وهذا هو المبدأ الذي تقوم عليه القنبلة الهيدروجينية، وهو مصدر طاقة الشمس، وهكذا تم حل «مفارقتين اثنين باكتشاف الطاقة النووية: انشطار العناصر الثقيلة الذي يساعد على الاحتفاظ بدفء الأرض وهي في ثلاجة الفضاء، واندماج العناصر الخفيفة معا والذي يوفر الناتج الحراري للنجوم.

والمصدر المولد للطاقة في هذه العمليات النووية هو تحول المادة إلى طاقة. وتقوم محطات الطاقة النووية يشطر نوى ذرات اليورانيوم الثقيلة إلى نوى أخف تكون كتلتها مجتمعة أقل من كتلة اليورانيوم الأصلي. وفارق الكتلة يظهر كطاقة-وهكذا تعمل أشهر معادلة في الفيزياء $E=MC^2$، أ و ط = ك س2(*) وإذا كانت كتلة من ك جراما قد تحولت بالكامل إلى طاقة، فإن كمية من الطاقة ط يتم إنتاجها محسوبة بالإرج، حيث س هي سرعة الضوء ($3x10^{10}$سم لكل ثانية). وهكذا فإن مكافئ الطاقة لجرام واحد من أي شيء يكون $9x10^{20}$إرج-أي نحو25 مليون كيلوات ساعة. والشمس تنتج الطاقة بما هو أسرع من ذلك بمليون مليون مرة؛ وهي تفقد في كل ثانية 5 ملايين طن. ويمكن للشمس أن تكون قد بثت إشعاع الطاقة طيلة حياتها، محولة فحسب ما يقل عن 1/ 5,000 من إجمالي كتلتها إلى طاقة.

والعملية المستخدمة في منشآت القوى الذرية لا يمكن أن تعمل داخل الشمس: فالشمس تتكون كلها تقريبا من الهيدروجين، وليس من العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم-فيتكون 92 في المائة من الشمس من قوى الهيدروجين و 7 في المائة من الهليوم والباقي يتكون من نوى عناصر أثقل، هي الناتج العادم للمفاعل.

وأكثر الأحداث شيوعا داخل الشمس هو أن يحدث بعد سلسلة من الاصطدامات أن تندمج أربعة بروتونات لتنتج نواة واحدة من ذرة الهليوم.وهذه

(*) ط = الطاقة، ك = الكتلة، س = سرعة الضوء، وهذه المعادلة، أي الطاقة = الكتلة*مربع سرعة الضوء، أوردها أينشتين في نظريته عن النسبية الخاصة.

الذرة أخف من البروتونات الأربعة فينطلق فارق الكتلة كطاقة، نحسها في النهاية كدفء هنا على الأرض.

العناصر الذرية

تتكون الذرات من إلكترونات سالبة الشحنة تحيط بنواة مركزية موجبة الشحنة، والتجاذب الكهربائي ما بين الشحنات المتعارضة هو ما يساعد على إبقاء الذرة متماسكة معا. وتتكون أبسط الذرات من إلكترون واحد ونواة فيها وحدة واحدة من الشحنة الموجبة وتلك هي ذرة الهيدروجين. والنواة ذات الشحنتين الموجبتين تجتذب إلكترونين مكونة ذرة هليوم. فعدد الإلكترونات يحدد هوية العنصر.

وتورد القائمة التالية عدد الإلكترونات في أخف العناصر وفي بعض العناصر الثقيلة الشائعة:

1 هيدروجين	2 هيليوم	3 ليثيوم	4 بريليوم	5 بورون	6 كربون
7 نيتروجين	8 أوكسجين	9 فلورين	10 نيون	11 صوديوم	12مغنسيوم
13 المنيوم	14 سيليكون	26 حديد	47 فضة	79 ذهب	80 زئبق
82 رصاص	92 يورانيوم				

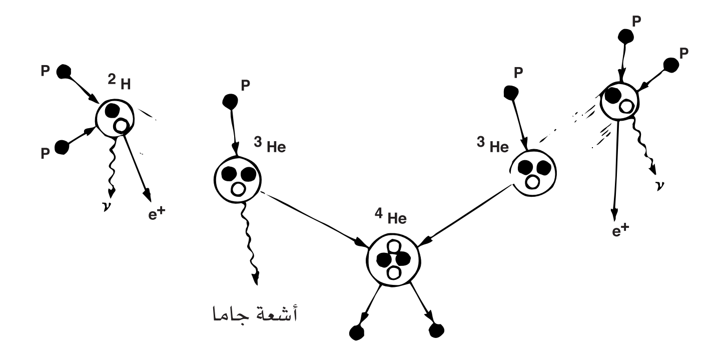
وتندمج البروتونات عندما تتلامس، ولكن الوصول بها إلى ذلك؟ يشبه أن ترغم قطبين شماليين لمغناطيسين على أن ينضما معا بدقة تصل إلى ما يقل عن جزء من البليون من جزء من الألف من المليمتر. وحتى يمكن التغلب على التنافر الكهربائي يتعين أن تصطدم البروتونات وعند سرعة عالية جدا، أو عند درجة حرارة عالية جدا. ونحن على الأرض نستطيع أن نعجل البروتونات داخل معجلات ضخمة مثل المعجل الموجود في المركز الأوروبي للبحث النووي في جنيف (CERN). وقد جمعت معا نتائج مثل هذه التجارب، حيث يتم إطلاق قذائف البروتونات أحدها على الآخر أو إطلاقها على نوى عناصر أخرى، وكذلك نتائج التجارب الأخرى التي تنطلق فيها الطاقة من مفاعلات نووية ويتم قياسها، وأمكننا من تجميع هذه النتائج كلها أن نستنبط تأثيرات التفاعلات النووية التي تجرى في داخل النجوم

مثل الشمس. وهي تدل على أنه حتى يتم اندماج البروتونات لتمتد الشمس بالوقود، فإن الحرارة في قلب الشمس ينبغي أن تكون أكثر من 10 ملايين درجة. وهذا الهياج الحراري يدفع البروتونات لتتضم معا، وتحافظ الطاقة المنطلقة على الحرارة والظروف اللازمة لأن يستمر المفاعل في عمله.

لقد تمثلت الاستنتاجات التي تأتت من التجارب النووية في المعامل على الأرض فيما يلي: «إذا كانت الشمس تعمل على هذا المنوال، فإنها يجب أن تكون ساخنة هكذا». والمعجزة أن الشمس في واقع الأمر «هي» بالفعل ساخنة هكذا، ونحن نعرف ذلك لأننا نعرف مدى ثقلها. إن وزنها يسبب ضغطا مكثفا عند مركزها، ضغطا يوازي ما يقرب من 200 بليون ضعف ضغطنا الجوي على الأرض. وتنجو الشمس من التقلص لأن الغاز الموجود في المركز يضغط في الاتجاه المعاكس. والغاز الذي تحت ضغط في حيز محدود يزداد حرارة. ويمكننا من كتلة وحجم الشمس أن نحسب الحرارة اللازمة لمنعها من التقلص. أنها تبلغ 15 مليون درجة، وهو كم من الحرارة يكفي لأن يدفع البروتونات معا حتى تندمج. وهذه المعلومات المختلفة التي استنبطناها عن الشمس-كتلتها، والضغط على داخلها والحرارة الناجمة عن ذلك، والاندماج النووي الذي يكفي نفسه تحت هذه الظروف، كل هذه المعلومات تتلاءم معا في اتساق.

وهكذا لا يعود هناك شك في أن هذا هو مصدر نتاج الشمس. وبالتالي يصبح وجودنا نتيجة لتوازن رهيف. فالاندماج يحدث بالسرعة الكافية لأن تظل الشمس تحترق، ولكنه أيضا بطيء بما هو كاف لبقاء الشمس الزمن الكافي لأن تنشأ حياة ذكية على أحد كواكبها.

ويمثل تحول الهيدروجين إلى هليوم أغلب، وليس كل، ما يدور داخل الشمس. فأحيانا تتصادم ثلاث نوى للهليوم وتندمج لتصنع نواة واحدة للكربون. صحيح أن احتمال حدوث ذلك هو احتمال ضئيل جدا لكن ما يحدث في الواقع هو أن نواة الكربون هذه يحدث أن تتذبذب قليلا بطاقة مميزة أو بما يسمى طاقة «الرنين». وهذه الطاقة لنواة الكربون المتذبذبة تماثل تقريبا الطاقة التي لثلاث نوى من الهليوم وهو ما يجعل من الأسهل كثيرا نواة الهليوم أن تشكل الكربون. ولو لم يكن الأمر كذلك لما كنا هنا. بل



شكل (7- 1) تحول الهيدروجين إلى هليوم داخل الشمس (ب ورمزها ?) تصطدم وتتحول إلي نيوترونات (ن، 0) في العملية: (ب)+ (ب) (+ن+أ+ف، حيث أ+ هي بوزيترون، وف نيوترينو ويتم ب+بب+ن+أ++ف

ب+ن (2 يد

والبروتون والنيوترون يمسك أحدهما بالآخر في إحكام ليصنعا نواة «الهيدروجين الثقيل» (الذي يسمى أيضاً ديوترون، ورمزه 2 يد. وفي المرحلة الثانية (الوسطى يميناً أو يساراً) يمسك الديوترون واحد ويشكل نواة هليوم مكونة من بروتونين اثنين ونيوترون واحد. ولما كان إجمالي الجسيمات المكونة للنواة هو ثلاثة فإن هذا يرمز له ب 3 هل. وتكتب العملية كالتالي ب+2يد (3هل + جاما

حيث جاما طاقة تشع كضوء.

المرحلة الثالثة (في المنتصف): تصطدم نواتان من 3هل، بما يصل بإجمالي جسيمات النواة إلى أربعة بروتونات ونيوترونين كلها معاً. وهذا الاتحاد غير مستقر وينكسر في التو إلى نواة مستقرة لـ4 هليوم (2ب و 2ن)، وينطلق البروتونان الآخران ليبدآ ثانية الدورة كلها من جديد.

3 هل + 3 هل (4هل +ب +ب

والسلسلة كلها قد بدأت بستة بروتونات وتنتهي إلى 4 هل (2ب+2ن)، وبروتونان وطاقة تنطلق في شكل جسيمات نيوترينو وضوء. والنتيجة الخالصة للتغير هي أن 4 نوى للهيدروجين (بروتونات) قد أنتجت نواة هليوم واحدة وطاقة تشع.

إن الكون ما كان ليكون فيه إلا أقل القليل من أي شيء أثقل من الهليوم! وما أن يتكون الكربون، الأكبر كتلة من الهليوم، حتى يصبح هدفا سهلا للبروتونات الموجودة في كل مكان، فيمتص واحدا منها ويتحول إلى نيتروجين. وباصطدامين آخرين بالبروتونات مع بثه من نشاط إشعاعي ينتج الأكسجين وأشعة جاما، وجسيمات أطياف «ساخنة» تسمى جسيمات النيوترينو تتدفق

من الشمس إلى داخل الفضاء ويمكن الكشف عنها هنا على الأرض. وبصدمة أخرى بأحد البروتونات ينشطر الأكسجين إلى نواة واحدة للهليوم ونواة للكربون. وهكذا فإننا قد سرنا في دورة: من الكربون إلى الكربون ثانية مع إشعاع طاقة خلال العملية. وهذا الكربون هو مثل بيضة تنتظر الإخصاب بواحد من البروتونات الكثيرة التي مازالت موجودة في مركز الشمس، وبهذا فهو مهيأ لأن يسير في الدورة مرة ثانية.

ونتيجة هذا كله هي أن الكربون مادة حافزة catalyst، فهو يلتهم البروتونات من قلب الشمس ويغير من أوضاعها عدة مرات قبل أن ينتهي إلى الكربون والهليوم وإطلاق الطاقة. ويتم استهلاك البروتونات بمعدل 5 ملايين طن في الثانية، على مدى كل يوم وسنة وقرن طيلة الدهور. وهكذا فإن الشمس تتغير وئيدا من قنبلة هيدروجينية إلى كرة من الهليوم. وفي الوقت نفسه سيظل هناك ما يكفي لأن نبقى دافئين لخمسة بلايين سنة أخرى أو ما يقرب. إلا إذا...

لنفرض أن العمليات النووية-الحرارية التي تجري في قلب الشمس قد هبط معدلها. من الممكن أن ينقضي زمن طويل قبل أن تصل إلى سطح الأرض أخبار الظروف التي تغيرت في قلب الشمس. وهكذا فإنه يمكن الآن أن نكون في زمن ما من هذه الفترة، منتظرين أن ينطفئ النور عند السطح. إلا أن الإندماجات التي تحدث في قلب الشمس لها نتاج ثانوي-هو جسيمات النيوترينو-وعدد هذه الجسيمات هو بمنزلة مقياس للحرارة: وعندما نكتشفها على الأرض يمكننا أن نقيس درجة حرارة الشمس الداخلية. وانخفاض تدفق جسيمات النيوترينو يمكن أن يكون الإنذار المبكر لنا عن أزمة طاقة حقيقية.

وهنا تواجهنا المشكلة: فعدد جسيمات النيوترينو التي تصلنا هو بالمقارنة أقل كثيرا من الأرقام المتوقعة لو كانت الشمس تسلك كما نعتقد أنها ينبغي أن تسلك. فما الخطأ؟ يحاول أفراد كثيرون اكتشاف ذلك وليس من تفسير أكيد حتى الآن، ولكن هناك احتمالات عديدة. ولبعض هذه الاحتمالات نتائج غريبة تترتب عليها ليس بالنسبة للشمس فحسب وإنما بالنسبة لمستقبل الكون كله.

وسأقوم أولا بتوصيف ما تكونه جسيمات النيوترينو هذه وكيف نكشف

عن وصولها للأرض. ثم أقوم بعدها باستعراض الآراء التي تلقى قبولا أوسع لدى العلماء فيما يتعلق بتفسير أنها أقل مما ينبغي.

لغز النيوترينو

النيوترينو هو أحد أكثر أشكال المادة انتشارا في الكون، كما أنه من أكثرها مراوغة. وكتلته أقل من جزء من المليون من كتلة البروتون. والواقع أنه قد لا يزن شيئا على الإطلاق-فما من أحد أمكنه حتى الآن أن يقيس وزنا بالغ الضآلة إلى هذه الدرجة، وهو متعادل كهربائيا ويمكنه أن ينتقل عبر الأرض بسهولة انطلاق رصاصة خلال كومة ضباب. وإذ تقرأ أنت هذه الجملة فإن بلايين من جسيمات النيوترينو تندفع خلال مقلتيك بسرعة الضوء ولكنها لا ترى. ويقدر الباحثون أنه يوجد ما بين 100 و1000 نيوترينو في كل سنتيمتر مكعب من الفضاء.

وهناك «ريح» كثيفة لكن لا تحس من جسيمات النيوترينو، والمنبعثة من العمليات النووية داخل الشمس، تتحرك باستمرار فوق سطح كوكبنا. وفضلا عن ذلك هناك نسمات أخف من جسيمات النيوترينو تأتي من النجوم المتقلصة ومن عمليات كارثية أخرى تجري في مجرتنا. وتسطع الشمس بجسيمات النيوترينو بالقوة نفسها تقريبا التي تسطع فيها بالضوء المرئي. وتغمر جسيماتها من النيوترينو التي من النجوم الأخرى بمثل ما تطغى شمس النهار على النجوم الأخرى.

ولو كانت أعيننا ترى جسيمات النيوترينو لكنا قادرين على الرؤية في الظلام. بل ولأصبح النهار دائما، وذلك لأن الأرض شفافة بالنسبة لجسيمات النيوترينو خارجها فيما يقل عن ثانيتين. ونحن عندما نرى الشمس فإنما نرى الناتج النهائي لعمليات جرت في مركزها عندما كان أفراد الإنسان البدائي يمشون على الأرض لأول مرة. ولو أننا كنا قادرين على رؤية جسيمات النيوترينو لكان باستطاعتنا أن ننظر إلى قلب الشمس وأن نراه كما هو «الآن».

ومكمن الصعوبة هنا هو أن علينا أن «نمسك» بجسيمات النيوترينو. والصعوبة هنا واضحة: فإذا كان بإمكان هذه الجسيمات أن تهرب من خلال كل ذلك الاضطراب العظيم في الشمس، فما الذي يرغمها على أن

تسلم نفسها حسب ما يلائمنا؟ إن الحيلة التي يمكن استخدامها هنا هي أنه إذا كان من غير المرجح على الإطلاق بالنسبة لجسيم واحد من النيوترينو أن يحدث له تفاعل فإنه عند وجود كثرة من هذه الجسيمات ووجود مادة كافية تترقبها، فإنه سيتم بين وقت وآخر الإمساك بواحد من هذه الجسيمات ويمكن تصور حجم المشكلة من حقيقة أنه قد مر نصف قرن بأكمله على تنبؤ الفيزيائي النمساوي ولفجانج باولي بوجود جسيمات النيوترينو، دون أن يتمكن أي فرد من الإمساك بها وإثبات صحة هذه الفكرة.

وقد خطرت لعالمي فيزياء يعملان في معمل. لوس آلاموس بنيو مكسيكو في الخمسينيات من هذا القرن فكرة «القيام بأصعب تجربة فيزياء ممكنة». ورأى هذان الفيزيائيان، وهما كلايد كوان وفريد رينز، أنه إذا كانت جسيمات النيوترينو موجودة حقا فإنه ينبغي أن تكون هناك طريقة ما لإثبات ذلك. وإذا كان لهذه الجسيمات أي وجود فيزيقي حقيقي فلا بد أنها تفعل «شيئا» مهما كان ذلك نادرا. وهكذا قررا أن القوة الغاشمة هي التي تصلح لهذه المهمة: فلنضع أهدافا كثيرة في طريق تيار كثيف من جسيمات النيوترينو.

وتصورا في أول الأمر أن الانفجارات الذرية يمكن أن توفر إمدادا ذا كثافة مناسبة من جسيمات النيوترينو وربما يكون ذلك صحيحا، ولكن ستكون هناك مخاطرة في إجراء ذلك كتجربة. وتبينا في النهاية أن المفاعل النووي ينتج جسيمات النيوترينو بكثافة كافية وتحت ظروف مأمونة. وهكذا تعين أن تصطدم جسيمات النيوترينو الآتية من المفاعل بين وقت وآخر بالنوى الذرية التي في الهدف وتكشف عن نفسها بتغيير موضعها والتغير إلى أشكال من المادة هي أسهل في الكشف عنها، كالإلكترونات مثلا.

وتكوّن جهاز الكشف الهائل الذي استخدماه من 1000 رطل من الماء وضعت مباشرة في طريق تيار جسيمات النيوترينو الخارج من مفاعل لجنة الولايات المتحدة للطاقة الذرية عند نهر سافنا. وقد سمياه مشروع «الشبح الضاج» بسبب ما ظهر من قدرة طريدتهما على الإفلات من محاولات الكشف عنها. وقدرا أن تدفق جسيمات النيوترينو من المفاعل يقرب من ثلاثين ضعفا لتدفقه المتوقع من الشمس. ونجحا في الكشف عن اصطدام أو اصطدامين لجسيمات النيوترينو مع نوى الهيدروجين في الماء في كل ساعة. وكانت هذه إشارة ضعيفة جدا، ولكنها كافية، لإظهار أن النيوترينو

موجود حقا.

وهكذا ظهر علم فلك النيوترينو في 1964، عندما قام فريق ريموند دافيز بمعمل بروكهافن القومي في نيويورك ببناء كشاف ضخم في أعماق الأرض. وكان عليهم أن يفعلوا ذلك ليتواروا عن كل أنواع الحطام الأخرى التي ترتطم باستمرار مع طبقات الجو العليا-أي الأشعة الكونية الموجودة في كل مكان، وهي في معظمها نوى ذرية نجمت عن عمليات عنيفة جرت عميقا في الفضاء ثم أسرها المجال المغناطيسي للأرض. والغلاف الجوي يحمينا من هذه الأشعة بمثل الكفاءة التي يحمينا بها من الغزاة الآخرين الأكبر حجما-فلا يصل إلى مستوى سطح الكرة ما يزيد على رذاذ بسيط من الجسيمات الذرية، وثمه عدد قليل جدا يصل إلى ما يتخلل «أمتارا» معدودة من الأرض. وإذا نزلت في منجم عميق فلن تجد باقيا سوى جسيمات النيوترينو.

وهكذا فإن جسيمات النيوترينو هي ليست شيئا يصعب الإمساك به فحسب، بل إن عليك أن تذهب إلى أقصى مسافة، أو بالحري لأقصى عمق، لتستبعد أي جسيم منافس لها.

وقد هبط فريق دافيز بعمق ميل كامل في منجم هومستيك في مكان له اسم رومانتيكي هو «عقيق الغابة الميتة» بجنوب داكوتا. وكان المنجم صغيرا جدا بالنسبة للأداة الماردة التي في ذهنهم. فكان عليهم أولا أن يزيلوا 7 آلاف طن من الصخور، ثم كان لا بد من بناء الخزان على السفح والنزول به جزءا بعد جزء إلى المنجم 4 وما أن تم لهم تجميعه كله عميقا تحت الأرض حتى ملأه بما يزيد على 100 طن من مادة بيركلوراثيلين-وهي سائل يستخدم في التنظيف على الناشف.

وقد اختاروا هذا السائل الشائع لأنه يحوي الكثير من ذرات الكلور. وعندما يخترق نيوترينو من الشمس جدار الخزان ويرتطم بذرة كلور فستكون الفرصة مواتية ليغير الكلور إلى أرجون. وظل دافيز يستخرج الأرجون بالدفق من الخزان دوريا ليقيس المقدار الموجود منه. وبصرفة مقدار الأرجون الذي تم تكوينه يمكننا أن نعرف عدد جسيمات النيوترينو المرتطمة.

وبدأ أفراد الفريق التجربة في عام 1970 وظلوا يكررونها لما يقرب من 60 مرة. وكانوا يرون الشمس تسطع بجسيمات النيوترينو، ولكنها كانت

أعتم مما توقعوا. فما يصل إلى كشافهم هو في المتوسط ثلث واحد فحسب من عدد جسيمات النيوترينو التي كان ينبغي أن تصل إذا كان فهمنا للشمس صحيحا. وبالإضافة إلى ذلك كانت هناك تراوحات صغيرة في معدل تدفق جسيمات النيوترينو، يزعم بعض الأفراد أنها تتبع نمط دورة بقع الشمس.

وقد ألقى أفراد فريق دافيز كلمة عن تجربة النيوترينو في مؤتمر للمعهد الأمريكي للفيزياء عام 1984، وصفوا فيها كيف كان تدفق النيوترينو متباينا من عام لآخر من عام 1970 فصاعدا. وفي كل عام كان يتوافر لديهم بيانات غير يقينية بنسبة ما، وذلك نتيجة للتعقيدات الكثيرة للتجربة، ولمحاولة استخلاص استنتاجات من عينة صغيرة لارتطامات النيوترينو. ولو تجاهلنا الطابع اللايقيني للتجربة فإنه سيبدو لنا أن هناك ارتفاعا وانخفاضا له علاقة ارتباط بدورة بقع الشمس، على أننا لو أخذنا طابع اللايقين بعين الاعتبار، فإن علاقة الارتباط يضف أثرها كثيرا.

وفي وقت لاحق قام ج. باهكول، وهو أحد العلماء المنظرين المبرزين في برنستون، بدراسة تفصيلية بالاشتراك مع ج. فيلد و و. بريس من هارفارد للتحقق مما إذا كانت توجد علاقة ارتباط بالفعل أو لا توجد. وقد وجد أن المعطيات «تتبئ بشيء ما، ولكنها إحصائيا غير ذات دلالة». وعلاقة الارتباط المطروحة هذه كان منشؤها الأساسي هو التدفق المنخفض من النيوترينو في بداية عام 1980، أثناء فترة ذروه لبقع الشمس. وقد تكون علاقة الارتباط غير ذات دلالة إحصائيا، ولكن ها قد ثار الاهتمام بالأمر، وهكذا أصبحنا ننتظر الفترة التالية للحد الأقصى من بقع الشمس لنرى ما إذا كان تدفق النيوترينو سينخفض ثانية.

إن هناك شيئا غير موات يحدث ونحن لا نعرف ما هو. وهناك تجارب جديدة في الطريق تحاول حل اللغز. وحتى يمكننا تقييم الاستشفافات الجديدة التي ستقدمها هذه التجارب فإننا في حاجة إلى استعراض ما الذي يحترق داخل الشمس في ضوء ما توفره معارفنا الحالية.

داخل الشمس

تشكلت أبسط الجسيمات المستقرة، وهي الإلكترونات والبروتونات، في حرارة الانفجار الكبير. ويمكن للنشاط الإشعاعي أن يحول البروتونات

والجسيمات المناظرة لها والخالية من الشحنة الكهربية-أي النيوترونات-كل منها إلى الآخر جيئة وذهابا فيساعد بذلك على تشكل نوى العناصر الثقيلة. ويتطلب الأمر حرارة هائلة لضم المكونات المختلفة معا ولطبخها على هذا النحو، وتوفر الجاذبية هنا الوقود اللازم لذلك، وذلك بأن تشد البروتونات الموجودة في كل مكان (نوى الهيدروجين) معا رافعة من درجة حرارتها لتشكل الكتل المختلطة التي نسميها النجوم. وبوساطة النجوم تستطيع الطبيعة أن تصنع العناصر التي تعد ضرورية لتعقيدات الحياة.

لقد وصفت في موضع سابق من هذا الفصل كيف تفعل الشمس ذلك. وسأعاود ذلك مرة أخرى هنا لكن مع التركيز هذه المرة على منتجات «العادم»، أي الطاقة المشعة.

إن الطريق إلي وإليك يبدأ بلقاء بروتونين في مركز الشمس منذ بلايين السنين. لقد تم الاندماج بينهما، وتحول أحدهما إلى نيوترون مكونين باتحادهما منظومة مستقرة، أي نواة «للهيدروجين الثقيل» إن بإمكان بروتون واحد ونيوترون واحد أن يرتبطا بإحكام ويظل اندماجهما باقيا وكتلتهما المشتركة هي أقل من كتلة مجموع كتلة البروتونين منفصلين، والطاقة الفائضة يتم إشعاعها، ويتم هذا الإشعاع جزئيا بوساطة جسيمات النيوترينو. وتستطيع جسيمات النيوترينو أن تحمل أي قدر من الطاقة حتى 420 ألف إلكترون فولت (البطارية ذات الفولت الواحد يمكن أن تعطي إلكترونا واحدا طاقة من 1 إلكترون-فولت أو «أ. ف» للاختصار). وتلك هي أهم طريقة لإنتاج النيوترينو في الشمس-فما يزيد على 99 في المائة من جسيمات النيوترينو في الشمس يتم إنتاجها على هذا النحو.

وهناك احتمال آخر في الظروف الحارة المكثفة لمركز يتمثل في أن تلتقي ثلاثة جسيمات، فيندمج بروتونان مع إلكترون لتكون نواة الهيدروجين الثقيل نفسها كما من قبل، ولكن الطاقة تنطلق هذه المرة بكميات أكبر-4, 1 مليون أ. ف-ويتم حملها أيضا بعيدا بأحد جسيمات النيوترينو. ونوى الهيدروجين الثقيل هذه سرعان ما ترتطم بها بروتونات أخرى، فتتكون نوى من العنصر التالي في بساطته وهو الهليوم. ومرة أخرى تنطلق طاقة كلما تجمعت البروتونات في تشكيلات هي دائما أكثر استقرارا، ولكن الطاقة التي تنطلق في عملية بناء الهليوم تكون على هيئة أشعة جاما، وهي شكل

من الضوء عالي الطاقة. وتنتج الاصطدامات بين نوى الهليوم مقادير صغيرة من العناصر التي تلي الهليوم في الخفة وهي الليثيوم، والبريليوم، والبورون. وفي هذا الطور الأخير يتم إنتاج جسيمات نيوترينو معدودة بطاقات يصل ارتفاعها إلى 14 مليون أ. ف (14 م. أ. ف للاختصار)، على أن هذا يكون أندر بـ10 آلاف مرة من جسيمات النيوترينو ذات الطاقة الأكثر انخفاضا والتي تنتج عن التفاعلات الابتدائية السابق ذكرها.

وينتج الحشد الأساسي للتفاعلات في الشمس جسيمات نيوترينو تكون طاقة كل واحد منها فرديا طاقة منخفضة، ولكنها موجودة بكميات هي من الوفرة بحيث إنها تشكل إجمالا الحاملات الرئيسية للطاقة. أما عن التجربة التي أجريت على الأرض باستخدام سائل التنظيف ككشاف فإنها لا ترى«أحدا» من جسيمات النيوترينو ذات الطاقة المنخفضة هذه، فهذه التجربة تستطيع أن تمسك فحسب جسيمات النيوترينو التي تكون طاقتها «أكبر» من مليون أ. ف والأغلبية العظمى من جسيمات النيوترينو الشمسية طاقاتها أقل كثيرا من هذا الحد المطلوب-ولنتذكر هنا أن ما يزيد على 99 في المائة من جسيمات النيوترينو لها طاقات أقل من 420 ألف أ. ف.

فجسيمات النيوترينو التي نكشف عنها حاليا يتم إنتاجها في عملية هي نسبيا غير مهمة، حيث يتم تحويل عنصري البورون والبريليوم في الشمس. أما جسيمات النيوترينو المهمة الناتجة عن الاندماج النووي الحراري فهي بعيدة عن متناول كشافاتنا الحالية. ويمكن تشبيه الأمر كما لو أن أذن الكشاف حساسة لنغمات موسيقى المفتاح الثلاثي Treble Clef على حين تصدر الشمس النغمات أساسا عند الجهير المضاعف double basse ولكي يتم «سماع» هذه النغمات، والتي هي الجزء الأكبر من الأوركسترا، فلا بد من بناء أنواع جديدة من الكشافات.

وفي استطاعتنا أن نكشف عن جسيمات النيوترينو ذات الطاقة المنخفضة لو استخدمنا هدفا يتكون من عنصر الجاليوم بدلا من الكلور (سائل التنظيف). فالجاليوم يستجيب لارتطامات جسيمات النيوترينو طاقتها تصل إلى ربع الحد الأدنى من الطاقة اللازمة للتأثير في سائل التنظيف. وهو ما يجعلنا قادرين على «سماع» النغمة الرئيسية في لحن الشمس. على أن المشكلة هي أننا لكي نفعل ذلك فسنحتاج إلى أطنان كثيرة من الجاليوم

تفوق الإنتاج العالمي من الجاليوم سنويا. وعلى أي حال، فإن القيام حتى بجهد متواضع هنا سيكون أفضل من لا شيء. وهناك مجموعتان تقوم كل منهما بتجربة من هذا النوع، أحدهما في روسيا والأخرى يقوم بها فريق مشترك من العلماء من عدة دول وستجرى التجربة متوارية تحت الأرض في نفق جران ساسو تحت جبال الألب.

وتقوم مجموعة من أوكسفورد ومجموعة أوروبية مشتركة، كل منهما على حدة، بمحاولة لإنشاء كشافات تحوي الإنديوم وهو عنصر نادر حساس لجسيمات النيوترينو ذات الطاقة المنخفضة حتى 150 ألف أ. ف-وهو تحسين يصل لنسبة خمسين في المائة عن كشاف الجاليوم. وإذا ما نجح تشغيله فسيلتقط جسيمات النيوترينو الناتجة عن أهم التفاعلات النووية الحرارية في الشمس.

وهكذا فمن الممكن أن تكون التجارب التي أجريت حتى الآن، والتي أمسكت جسيمات نيوترينو أقل كثيرا مما كان متوقعا، قد التقطت فحسب مجرد همسة كل من قدرات الشمس الصوتية العالية، وهي همسة أهدأ نوعا مما توقعناه، بينما العزف الجهير العميق يصرخ عاليا وإن كنا لم نسمعه بعد.

وربما سنعرف في ظرف سنين معدودة عندما تبدأ التجارب الجديدة إذا كانت تلك هي الإجابة عن اللغز. ويشك كثير من علماء الفيزياء الفلكية في أن يكون الحل بهذه السهولة، فهم يعتقدون أننا سنجد أن جسيمات النيوترينو هذه هي أيضا أقل مما ينبغي. وإذا كانوا مصيبين، فستصبح أمامنا مشكلة حقيقية. وهكذا فإن علينا أن نبحث في اشتباهين اثنين. فهل يكون الأمر أن مركز الشمس بارد أم أن شيئا يحدث لجسيمات النيوترينو وهي في الطريق؟

الاشتباه الأول: شمس أبرد

كان رد فعل الباحثين النظريين الذين يؤمنون إيمانا قويا بأنهم يفهمون طريقة عمل الشمس هو أنهم أعلنوا أن التجربة لا بد أن تكون خاطئة. فالتجارب التي من نوع هذه التجربة هي تجارب معقدة ومركبة. وسائل التنظيف على الناشف تبدو كمشروع لحوض مطبخ، ولكن لا تدع الظواهر

تخدعك، فهذه السلعة التي يسهل الحصول عليها تحيطها في هذه التجربة تكنولوجيا تفصيلية عالية المستوى. وقد يحدث الخطأ في مكان ما من سلسلة الإلكترونيات وتنظيمات الكمبيوتر بما يخدعنا ويجعلنا نعتقد أن جسيمات النيوترينو تصل بأعداد أقل مما يصل فعلا.

ويرد الباحثون التجريبيون بأنهم قد راجعوا فحص أجهزتهم تفصيليا، وأنهم أجروا سلسلة اختبارات كيميائية واسعة المدى تثبت كفاءة الأجهزة في استخلاص القدر الحرج من الأرجون من الكلور الذي يعمل كهدف. والنتائج الشاذة التي يتم الحصول عليها عندما تأتي جسيمات النيوترينو من الشمس يبدو أنها تدل على أن شيئا ما يحدث في الشمس، أو لجسيمات النيوترينو وهي في طريقها للأرض، وليس على أن هناك خطأ في الجهاز.

وإذن فلعل نموذجنا المعتمد عن الشمس على خطأ.

إن جسيمات النيوترينو التي تم التقاطها في منجم داكوتا هي الناتج النهائي لسلسلة من تفاعلات الاندماج التي دفعت بالحرارة. وهذه الحرارة هي التي تلقي بالبروتونات معا، وإذا أصبحت الشمس أسخن أو أبرد فإن الاندماج يحدث بسرعة أكبر أو أقل. فسرعة إنتاج النيوترينو تعتمد بحساسية كبيرة جدا على درجة الحرارة، فتتغير السرعة في تناسب مع الحرارة مضروبة في نفسها 10 مرات. وهذا يجعلني في حالة عصبية. إذا كانت الحرارة أقل بعشرة في المائة فحسب مما تتوقعه نظريتنا (وهو أمر لا يبدو بعيدا عن المعقول) فإن تدفق النيوترينو سينقص بعامل أو اثنين. وحتى في هذه الحالة فإن بعض الباحثين النظريين يقولون إنهم واثقون من تنبؤاتهم عن درجة الحرارة بهذا المستوى من الدقة، وأن هذا المخرج «السهل» ليس المخرج الصحيح. على أن هذه الحسابات تزعم ضمنا أن قلب الشمس يتكون من بروتونات ونيوترونات-أي مكونات أشكال المادة المألوفة لدينا-وأنه لا توجد حتى الآن جسيمات غير معروفة هناك. وهو ما يأتي بنا إلى النظريات الحديثة عن المادة، والتي يعتقد بعض الباحثين النظريين أنها يمكن أن تغير الصورة التي لدينا عن الفرن الشمسي تغييرا جذريا.

وتقترح هذه النظريات الجديدة أنه قد تكون هناك جسيمات مستقرة ثقيلة جدا تم إنتاجها عند الانفجار الكبير وأنها الآن نادرة جدا. وهذه الجسيمات تتفاعل مع المادة تفاعلا ضعيفا جدا، وهي تسمى الجسيمات

الثقيلة ذات التفاعل الضعيف أو ويمبات WIMPS (الحروف الأولى من-Weakly Interacting Massive Particles) . وتجرى التجارب في شتى أنحاء العالم بحثا عن أشياء كهذه، ولكن حتى الآن ما من دليل مباشر عليها . وهناك رأي يقول إنه لما كانت هذه الجسيمات ثقيلة، فإن أيا منها عندما يوجد على الأرض سيغوص إلى مركزها بتأثير الجاذبية. وبالتالي، فأي مما يوجد في المنظومة الشمسية منها سوف ينزع إلى أن يرسب بالجاذبية في داخل الشمس ليتجمع في قلبها .

إن النظرية السائدة عن الشمس تشير إلى أن حرارتها تتزايد بسرعة كلما اقتربت من المركز. ويمكن لجسيمات الويمبات أن تهدئ من هذا الارتفاع في الحرارة، وأن تبرد من حرارة الشمس على نحو فعال. وحتى يمكن لجسيمات الويمبات أن تقوم بذلك فإنها يجب أن تكون أثقل من بروتونات الوقود الموجودة في كل مكان بما يتراوح بين خمسة أمثال وعشرين مثلا . فإذا كانت أخف من ذلك فإنها ستتبخر للخارج من المركز، أما إذا كانت أثقل فإنها ستغوص فيه للأبد . أما في المدى المتوسط للكتلة فإنها تغوص للداخل ثم تدور لترحل وهي تحمل الحرارة بعيدا عن المركز، ثم تعود ثانية للداخل في مدار لا ينقطع. وإذ تنخفض الحرارة المركزية هكذا فإن دورة الوقود تصبح أبطأ وينخفض تدفق جسيمات النيوترينو بما يتفق مع ما نلاحظه. أو سينخفض على الأقل عدد جسيمات النيوترينو التي يكشفها سائل التنظيف. ورغم أن الويمبات بطيئة فإنه يمكن أحيانا أن يصطدم أحدها بالآخر ويدمر كل منها الآخر. وأحد النواتج الثانوية لهذه «الكارثة» هو تولد جسيمات نيوترينو تزيد طاقة كل منها فرديا آلاف المرات على طاقة جسيمات النيوترينو الناجمة عن اندماج البروتونات-أي مصدر الإمداد الرئيسي للوقود . وإذا كانت طاقات جسيمات النيوترينو في الاندماج الشمسي تشبه بصوت الجهير المضاعف، فإن الويمبات تعطي جسيمات النيوترينو طبقة عالية مثل صفارة الكلب. وإذا مضينا أبعد في تشبيهنا فبإمكاننا القول إن التجارب الحالية على جسيمات النيوترينو الشمسية حساسة فقط لمدى محدود عند مستوى المفتاح الثلاثي. ويجري الآن البحث عن نغمة من طبقة عالية (أو طاقة عالية) ولكن الوصول إلى نتائج سيستغرق بعض الوقت.

الاشتباه الثاني: جسيمات النيوترينو تخدعنا

في هذه المحاولة البارعة لحل المشكلة يلقى بمسؤولية مشكلة جسيمات النيوترينو الشمسية على جسيمات النيوترينو نفسها. فإذا كانت جسيمات النيوترينو ثقيلة فإنها تستطيع أن تغير من طابعها وهي في طريقها من الشمس وذلك على نحو يجعلنا نكتشف فحسب ثلث الجسيمات التي بدأت الرحلة. وهكذا يصبح الكل سعداء! فتدفق جسيمات النيوترينو الخارجة من الشمس يصبح بالضبط كما تنبأ به العلماء المنظرون، وتصبح الشمس تسطع حسب النظام، ويصبح الكون في اتجاهه للتقلص في النهاية تحت ثقل جسيمات النيوترينو هذه. ولكن فلنأخذ المسائل بترتيب أولوياتها !

هناك ثلاثة أنواع معروفة من النيوترينو. والعمليات التي تجري في الشمس تنتج أحد هذه الأنواع يسمى «النيوترينو-الإلكترون». وإذا كان هذا النوع من النيوترينو بلا كتلة فإنه سوف يسري عبر الفضاء إلى الكشاف الذي ينتظره وهو في حالته الأولية. والتدفق الذي تم رصده في داكوتا هو مقياس مباشر لما أنتجته الشمس. على أنه إذا كان للنيوترينو كتلة، فإن بإمكانه أن يتغير وهو في طريقه إلى واحد من النوعين الآخرين. ولما كان الكشاف يسجل فحسب وصول نوع النيوترينو-الإلكترون، فسوف يسجل جسيمات نيوترينو أقل من تلك التي بدأت الرحلة.

لكن هل لجسيمات النيوترينو كتلة أم لا؟ ما من قاعدة معروفة تقول إنها يجب أن تكون بلا كتلة. ورغم أن هناك تجربة أجريت في موسكو تزعم أنه قد تم قياس كتلة صغيرة للنيوترينو فمازال الرأي العلمي السائد، نتيجة لعدم تكرار تجربة القياس من جهة مستقلة، هو أن المسألة مازالت مفتوحة.

ويتفق الجميع على أنه لو كان لجسيمات النيوترينو كتلة، فستكون صغيرة جدا. وتشير أفضل التجارب التي أجريت في معامل في الأرض إلى إن «النيوترينو-الإلكترون» يمكن أن تتجاوز كتلته «واحدا على ثلاثي» من جزء من المليون من كتلة البروتون. ومازال الناس يرقبون تدفق جسيمات النيوترينو الآتية من المفاعلات والمعجلات الموجهة هنا في الأرض ليروا ما إذا كان التدفق يذوي بالبعد عندما تغير جسيمات النيوترينو-الإلكترون من شكلها. وتزعم بعض الجماعات وجود ظاهرة كهذه، على حين تفند جماعات أخرى ذلك. وتلك قضية تعد منطقة نشطة للبحث في الوقت الحاضر. والواقع أن

طبيعة جسيمات النيوترينو في مجملها تعد من أعظم أسرار المادة التي يحاول فيزيائيو الجسيمات الكشف عنها. وقد زادت مشكلة الشمس من تفاقم المشكلة.

إن من المحتمل أن تكون جسيمات النيوترينو قد غيرت من هويتها وهي تنطلق عبر الفضاء، لكن العديد من الباحثين النظريين أعادوا النظر أخيرا عن كثب في بداية رحلة جسيمات النيوترينو. وحيث إن جسيمات النيوترينو يتم إنتاجها في قلب الشمس، فإنه يكون عليها أولا أن تندفع خلال نصف مليون ميل من مادة ألشمس. أفليس من المحتمل أن تخضع هذه الجسيمات لتأثير تولده البيئة الشمسية قبل أن تخرج إلى ضوء النهار؟

في عام 1986، وسع هانز بايث-الذي اشتهر بكشفه عن الدورة التي تنتج العناصر الثقيلة في النجوم نطاق فكرة قال بها عالمان فيزيائيان روسيان هما ميكائيف وسميرنوف ومفادها أن انتشار جسيمات النيوترينو خلال المادة، كما في الشمس، يمكن أن يكون له تأثيرات ملحوظة ويمكن أن يفسر مشكلة النيوترينو الشمسية.

وكما أن الضوء يمكن أن ينحرف وهو ينتقل خلال مواد ذات معامل انكسار مختلف، كذلك يمكن لشعاع من جسيمات النيوترينو الثقيلة أن يأتي بحيل عجيبة عندما يمر خلال مادة ذات كثافة متغيرة. والشمس مثال نموذجي لبيئة من هذا النوع. إن الشمس تضع كل طاقتها في نوع واحد من النيوترينو (النيوترينو-الإلكترون) ولكن يمكن لظاهرة رنين Resonance، أن تحدث أثناء مرور هذا النوع من النيوترينو خلال غازات الشمس، أن تسبب فجأة نزح الطاقة إلى نوع آخر. ووصف كيفية حدوث ذلك ليس فيه ما يساعد إلا قليلا، على أن هناك شيئا مناظرا لذلك بسيطا يمكنك أن تجربه بنفسك فيما يشبه لعبة من ألعاب التسلية في حفل للهو:

خذ قطعة دوبار طويلة وثقلين واصنع منها أرجوحتين معلقتين بعمود. زد طول إحدى نهايتي الدوبارة واربط النهاية الأخرى إلى مقبض بحيث يمكنك أن تغير من طول إحدى الأرجوحتين. ابدأ بالأرجوحتين وكل منهما لها طول مختلف واجعل الأرجوحة الحرة تهتز.

ستكون كل الطاقة في أرجوحة واحدة، وهذا يماثل النيوترينو الذي تنتجه الشمس فكل الطاقة هي في هذا النيوترينو.

والآن غيّر من طول الأرجوحة على نحو«تدريجي جدا» بحيث يصبح طول الأرجوحتين أكثر وأكثر تماثلا: ستجد أنه عندما يتطابق الطولان، سيحدث فجأة أن تتوقف إحدى الأرجوحتين بينما تأخذ الأخرى في التحرك. ودون أن تلمسهما، تكون كل الطاقة قد انتقلت من الأرجوحة الأولى إلى الأخرى. والطول المتغير للأرجوحتين هو المماثل للكثافة المتغيرة في الشمس. فعند حد حرج (هو في حالة الأرجوحتين عند تساوي الطول) يتخلى أحد جسيمات النيوترينو عن طاقته ليتسلمها الآخر.

وإذا كان هذا هو تفسير مشكلة النيوترينو الشمسي فإن السبب في صلاحيته هو أن الشمس لها بروفيل معين للكثافة ولأن جسيمات النيوترينو تنبعث بمدى معين حرج من الطاقة. وبالتالي فإن التجارب التي بدأت الآن، والتي ستكون حساسة لجسيمات النيوترينو ذات الطاقة المنخفضة، سوف ترينا تأثيرات مختلفة تماما عن تلك التي لمسناها في التجارب السابق إجراؤها حتى الآن. إن علم فلك النيوترينو قد بدأ مسيرته الجدية، وهو يعد بنتائج باهرة. وإني لأظن أنه سيثبت أن فهمنا للنجوم مازال بدائيا.

هل هناك صلة بالبقع الشمسية؟

وأخيرا هناك ذلك الاقتراح المحير القائل إن معدل اكتشاف النيوترينو في تجربة راي دافيز يتغير مع دورة بقع الشمس.

إن الشمس لا تستجيب للتغيرات إلا ببطء، وهكذا فإن إنتاج النيوترينو عند قلبها ينبغي أن يظل ثابتا لفترات يبلغ مداها من 10 آلاف إلى مليون سنة. وبالتالي سيكون من المدهش أن نجد أن التغيرات التي تحدث في تدفق النيوترينو على مدى فترة دورة بقع الشمس-وهي حفنة معدودة من السنوات-يتم إرجاعها إلى تغيرات في قلب الشمس. على أنه وكما أوضح ليف أوكن ومجموعة من الباحثين النظريين الروس، فإنه إذا كانت جسيمات النيوترينو تتفاعل مع المجالات المغناطيسية فسيتعين أن تكون هناك صلة ارتباط بالدورة الشمسية.

إن جسيمات النيوترينو تدور حول نفسها وهي منطلقة. والكشاف الأرضي يمكنه أن يكشف فحسب عن جسيمات النيوترينو التي تلف حول نفسها في اتجاه معين-وهذا جميل لو أنها كانت غير مغناطيسية، أما إذا كانت

مغناطيسية فهذه مصيبة. فعندما تكون هذه الجسيمات مغناطيسية، فإن المجال المغناطيسي في الفضاء سيثير الاضطراب فيها وهي منطلقة ويغير من توجهها، وتكون النتيجة أننا على الأرض لا نكشف عنها كلها. وسيظهر التدفق وقد ضعف. وعلاوة على ذلك فإن تدفق النيوترينو سيتأثر أيضا بدورة الشمس المغناطيسية. والبقع الشمسية هي العلامة الخارجية للنشاط المغناطيسي في الشمس، والذي يتغير في دورة من 11 سنة. وإذا كان النيوترينو مغناطيسيا، فإن تدفق جسيمات النيوترينو التي تصل إلى الأرض ينبغي أن يتغير حسب أطوار دورة البقع الشمسية.

والشمس تدور حول نفسها، وبالتالي فإن لها نصف كرة شماليا ونصف كرة جنوبيا مثلنا على الأرض، وسيكون اتجاه مجالها المغناطيسي متعاكسا في النصفين-مثل القطب الشمالي والقطب الجنوبي لأي مغناطيس. وخط استواء الشمس مائل بالنسبة لمدارنا، وعلى ذلك فنحن نرى أكثر، في أحد نصفي العام، قطب الشمس الجنوبي وبعدها بستة شهور نراها أكثر من قطبها الشمالي. وإذا كانت جسيمات النيوترينو تتأثر بالمجالات المغناطيسية، فإن تلك التي تنساب خارجة من نصف الكرة الشمالي ستتأثر على نحو مختلف عن تلك التي تنبعث من نصف الكرة الجنوبي. وهناك رشق في مجال الشمس المغناطيسي بطول خطها الاستوائي (وهذا هو السبب في أن البقع لا ترى في هذه المنطقة)، وهكذا فإن جسيمات النيوترينو التي تخرج في المناطق الاستوائية لن تتأثر مطلقا بالقوى المغناطيسية.

ويقطع مدار الأرض خط استواء الشمس في يونيو وديسمبر، وهكذا فإن جسيمات النيوترينو التي ترتطم بنا في منتصف الصيف والشتاء لا تتأثر بالمغناطيسية. على أنه سيتعين، في ربيع وخريف الأعوام التي تكون الشمس نشطة فيها، أن يتأثر تدفق جسيمات النيوترينو إذا كانت هذه الآراء صحيحة. وهكذا فربما يكون هناك تغير في تدفق النيوترينو كل ستة شهور بمثل ما تحدث أيضا دورة أكبر من 11-22 سنة.

وربما تكون هناك إشارات عن ذلك في المعطيات التي لدينا لكنها تعد بلا دلالة إحصائيا (إذا وقعت عملة أربع مرات متتالية والصورة إلى أعلى فإن هذا مجرد حظ، أما إذا سقطت هكذا 40 مرة فلا بد أن أحدهم قد وضع ثقلا للعملة. وحتى الآن فإن المعطيات الشمسية تماثل الحالة الأولى).

ويتعلق وجود التأثير أو عدم وجوده كلية بعام 1985 عندما وصل النشاط الشمسي إلى ذروته وانخفض التدفق الشمسي. وإذا تجاهلنا هذه السنة الواحدة فلن نجد تأثيرا ملحوظا على مدى سنوات عديدة. لكن أثير التساؤل التالي: هل سيحدث ذلك التأثير ثانية عندما يصل نشاط الشمس إلى ذروته في أوائل التسعينيات (كما نتوقع)؟ إذا حدث ذلك فإنه سيعلمنا شيئا عن جسيمات النيوترينو-أنها تحس بالقوة المغناطيسية-سيكون حدوث التغير حقيقة. على أن ذلك يمثل تعاقبا من الارتفاع والهبوط يتم عبر مدى من تناقص كلي. أما سبب وجود تناقص في المتوسط فلعله مازال سؤالا مفتوحا. وتعدنا الدراسات التي ستجرى بشأن جسيمات النيوترينو الشمسية في السنوات المعدودة القادمة بأن تعلمنا الكثير عن جسيمات النيوترينو، وعن الشمس، بل وربما حتى عن مصير الكون. وإذا كان أي من هذه التفسيرات هو السبب فيما يحدث من نتائج شاذة، فسيكون من المحتمل بالتالي أن جسيمات النيوترينو لها كتلة.. وإذا كان بايث، وميكائيف وسميرنوف على صواب، إذن فإن جسيمات النيوترينو تتأثر داخل الشمس وليس خارجها، وبالتالي سيكون من غير المرجح أن نتمكن من قياس كتلتها على الأرض. ولكننا سنتمكن من اختبار هذا الرأي عندما يبدأ تشغيل الكشافات الجديدة لجسيمات النيوترينو ذات الطاقة المنخفضة، أي تلك التي يتم إنتاجها في قلب الشمس. وحسبما يرى بايث فإن هذا النوع من جسيمات النيوترينو سيتأثر بطريقة مختلفة تماما عن ذلك النوع الذي رأيناه حتى الآن. ولعلنا سنعرف خلال سنوات معدودة إن كانت هذه هي الإجابة. فإذا كان الأمر كذلك، فإن كتلة النيوترينو تكون صغيرة جدا وليس لها إلا تأثير هامشي في جاذبية الكون.

أما إذا كان سلوك النيوترينو وهو منطلق هو السبب، فإن كتلة النيوترينو قد تكون كبيرة بما يكفي لأن تتحكم في مستقبل تطور الكون بصورة خطيرة. فهذه الجسيمات يبلغ من كثرتها أنها يمكن أن توفر كتلة أكبر من كتلة النجوم التي رأيناها من خلال أقوى التليسكوبات ويمكن لجاذبية جسيمات النيوترينو هذه أن تسبب تقلص الكون في انكماش كبير.

فإذا ما كان ذلك هو المستقبل، فإن هذا التقلص لا يزال بعيدا ببلايين كثيرة من السنين. على أنه سيكون إنجازا لا يصدق للذكاء الإنساني إذا ما

أدت بنا الدراسة الدقيقة لشمسنا ولمشكلة النيوترينو الشمسي إلى التنبؤ بالمصير النهائي للكون كله.

الجزء الثالث
مجرة من النجوم

8 رحلة حول درب التبانة

مقياس الأشياء

بينما كان رجلا شرطة يقطعان صحراء كاليفورنيا بسيارتهما، في إحدى الليالي منذ ثلاثين عاما، رأيا طائرا، أو على الأقل كان ذلك ما أورداه في بلاغهما.

فأمامهما مباشرة كان يحوم فوق الطريق ضوء ساطع. وقد وصفاه في البلاغ الذي قدماه عن الحادث بأنه كان «معميا». وقد ظنا في أول الأمر أنه ضوء هبوط طائرة في قاعدة جوية قريبة، ولكنه ظل يحوم، وقد توقف تماما عن الحركة، ثم فجأة اندفع مبتعدا «بسرعة لا تصدق». ولما كانت الأطباق الطائرة هي البدعة السائدة وقتها، فقد قررا أن هذا الضوء آت لا بد من عالم آخر.

وقد كانا مصيبين تماما! فالضوء كان آتيا بالفعل من عالم آخر-هو كوكب الزهرة. ففي بعض الليالي عندما يكون الجو صافيا وكوكب الزهرة منخفضا في السماء فإنه يمكن أن يبدو كضوء ناصع لكشافات سيارة. ولا نكاد نخطئ تفسير هذا الضوء على أنه ضوء قريب، حتى يعطينا إعتامه عن طريق سحابة رقيقة عابرة سيعطينا الانطباع بأنه قد رحل فجأة. وكثير من البلاغات التي سجلت عن الأطباق

الطائرة ظهر في النهاية أنها كانت رؤية للزهرة.

وليس كوكب الزهرة وحده الذي يمكنه أن يسطع بألمع من أي نجم، فقد يفعل ذلك أيضا المريخ والمشتري.

إلا أن أيا من الكواكب الثلاثة أو أيا من الكواكب الأخرى لا يسطع بضوئه الخاص به. فالكواكب إنما هي مرايا وذلك بخلاف النجوم التي تبث ضوءها الخاص بها مثلها مثل الشمس. ونحن في حالة الكواكب إنما نرى ضوء الشمس منعكسا من جو الكواكب أو سطحها.

وتعكس هذه الكواكب جزءا ضئيلا فحسب من ضوء شمسنا. إلا أنها تسطع بما يفوق النجوم تماما. تأمل هذه الحقيقة للحظات معدودة وستبدأ في الإحساس إلى أي مدى هي بعيدة تلك النجوم المتلألئة. والمسافات التي تفصلنا عنها هائلة بحيث إن التعبير عنها بالأميال لن يفيد كثيرا. هل تستطيع الإحساس بالفارق بين بليون بليون بليون بليون ميل ومليون بليون بليون بليون؟ إن المقدارين كليهما هائل، بما يتجاوز الإدراك. وهكذا فإن علماء الفلك يستخدمون مقياسا آخر هو الزمن الذي يستغرقه الضوء للوصول من «هناك» إلى «هنا». وحتى هذه الوحدات قد يكون فيها ما يثير التشوش إلا إذا ربطنا بينها وبين فترات زمنية مألوفة أكثر بالنسبة لنا.

والضوء هو أسرع ما يتحرك في الكون فهو ينتقل 300 متر في زمن لا يتعدى جزءا من المليون من الثانية، على حين تستغرق ردود الفعل البشرية بضعة أجزاء من ألف من الثانية. وفي الطريق الرئيسي ستتحرك سيارتك بضعة أمتار قبل أن يحدث رد فعلك الطارئ وخلال هذا الوقت يكون الضوء قد انتقل مسافة ألف ميل.

وفي شمال إنجلترا يتلقى الناس إشارة الوقت من راديو لندن متأخرة بجزء من الألف من الثانية. ويستغرق الكلام المنقول عبر مكالمة هاتفية بعيدة بين جلاسجو ولندن زمنا مماثلا. ونحن لا نلحظ مثل هذه التأخيرات الوجيزة، فهي تبدو لنا «فورية». وعندما تتصل هاتفيا عبر الأطلنطي فإن الإشارة ربما توجه لأعلى إلى قمر صناعي فوق الأرض بمسافة كبيرة، ثم تهبط لأسفل ثانية إلى الطرف الآخر في الحديث. وإذا حدث تأخير يصل إلى نصف ثانية فإنه قد يكون مربكا بعض الشيء. فها هنا نبدأ في التأثر بالسرعة المحدودة للضوء والإشارات اللاسلكية.

إننا نرى القمر بما كان عليه من 1,5 ثانية-أي زمن نبضتين للقلب. والشمس أبعد من ذلك. ويمكنك أن تقود دراجتك لمسافة مقدارها ميل واحد فتستغرق وقتا أقل مما يستغرقه ضوء الشمس للوصول إلينا. فبعد الشمس عنا هو «8 دقائق ضوئية».

أما الآن ونحن قد أخذنا نرسل المجسات الفضائية إلى الأطراف الخارجية للمنظومة الشمسية، فقد بدأنا نحس بفترة «تأخر الضوء»، مباشرة، ويستطيع الرياضيون البارعون إكمال سباق ماراثون في الوقت الذي يستغرقه الضوء للانتقال إلى أورانوس. وقد خلق ذلك مشاكل حقيقية للعلماء عندما وصلت هناك سفينة الفضاء فوياجير في عام 1986. فقد مرت فوياجير خلال حلقات وأقمار أورانوس، وكانت مبرمجة من قبل لتلتقط الصور ثم تبثها ثانية للأرض. وظلت الإشارات تندفع عبر الفضاء متجهة إلى العلماء المترقبين لها لمدة ثلاث ساعات.

وأخيرا ظهرت أول صورة مثيرة أمام العلماء. وما كان يفيد في شيء لو سأل واحد منهم السؤال التالي: «هل يمكنك أن تخبر المجس أن يوجه آلة تصوير للوراء بحيث يمكن الحصول على نظرة أقرب لذلك القمر الجديد؟»، ففي اللحظة التي كان يظهر فيها أي شيء جديد، يكون الوقت قد تأخر بالفعل. ذلك أن وصول رسالة إلى فوياجير سيستغرق 3 ساعات، وستكون هي في هذا الوقت قد خلفت أورانوس بعيدا وراءها.

ويستغرق الضوء نصف يوم ليفارق المنظومة الشمسية. وأقرب النجوم لها القنطورس الأدنى وقنطورس ألفا-تبعد تقريبا بأربع سنوات. وهي مرئية في السماوات الجنوبية. أما الناظرون في الشمال فيمكنهم أن يروا نجم كلب الشعري الأكبر اللامع وهو يسطع كما كان منذ ثماني سنوات.

فنحن عندما ننظر إلى النجوم فإنما ننظر إلى الخلف في الزمان. فنرى منكب الجوزاء، أي النجم الأحمر في برج[*] الجوزاء، كما كان في زمن الفتح النورماندي[*1]، ونرى السديم اللامع من النجوم الجديدة التي في سيف الجوزاء كما كان في أوائل العصر المسيحي، ونرى سديم السرطان

(*) البرج مجموعة من نجوم ثابتة.

(*1) أي عام 1066 م.

كما كان في زمن الفراعنة المصريين. وتتكون مجرتنا من بليون واحد من الشموس، يقع معظمها داخل قرص رقيق له انتفاخ عند المركز. وعندما ترى درب التبانة وقد تقوس في السماء فستكون ناظرا من خلال مستوى القرص. ولو كنت تعيش في نصف الكرة الجنوبي فسيمكنك أن تتبع درب التبانة حتى برج «القوس والرامي» حيث ستكون ناظرا مباشرة إلى الانتفاخ المركزي-أي قلب المجرة. وثمة نجوم كثيرة جدا هناك، وهي أيضا جد بعيدة بحيث لا يمكن تمييز النجوم المفردة؛ ويبدو مركز المجرة وكأنه بركة من الضوء. وهذا الضوء يظل يسافر 33 ألف سنة حتى يصل إلينا.

وكل النجوم التي في الأبراج تقع داخل مجرتنا ولكنها تبدو متباعدة قليلا لأننا ننظر لها من خارج المستوى الذي تقع فيه معظم النجوم. وسيمكنك في الليالي الصافية أن تميز أيضا بعض أجرام سديمية تبدو كسحب ضبابية رقيقة تعكس ضوء القمر. وبعض هذه السدم ليست في مجرتنا. وتوجد في السماوات الجنوبية السحب الماجلانية والتي ترى بالعين المجردة، وقد سميت على اسم ماجلان مستكشف أعالي البحار. وهذه السحب هي في واقع الأمر مجرتان، أصغر من مجرتنا، وتمثلان توابع لدرب التبانة. ولما كانتا أسيرتين لجاذبية مجرتنا الهائلة، فإنهما تدوران من حولنا باستمرار. وهما تقريبا على بعد 200 ألف سنة ضوئية؛ ونحن نراهما كما كانتا عندما كان إنسان العصر الحجري الحديث يشغل الأرض.

أما في السماوات الشمالية فيمكنك أن تنظر إلى برج «المرأة المسلسلة» وأن ترى خيطا رفيعا شاحبا بالقرب من ثاني أسطع عضو فيها. والمشهد رائع من خلال التليسكوب. فهذه المجرة هائلة تشبه مجرتنا كثيرا، حيث تبدو النجوم في لوالب (انظر شكل 4- 2). وهي تبعد مليوني سنة ضوئية، وضوءها يظل يسافر زمنا يماثل زمن وجود الجنس البشري. ولو كنا نستطيع أن ننظر إلى مجرة درب التبانة من الخارج فإنها ستبدو مشابهة لما يبدو عليه سديم المرأة المسلسلة من هنا. ولو نظرنا إلى درب التبانة من كوكب يدور حول نجم في سحب ماجلان فإن كل مجرتنا (أي درب التبانة) ستبدو مشهدا ناصعا في السماء.

وهنا نبدأ في إدراك الطبيعة المحتشدة للكون. إن الشمس هي أقرب النجوم إلينا والمنظومة الشمسية كلها التي تحيط بها، تشغل مسافات يمكن

للضوء أن ينتقل فيها في صباح واحد. والنجم التالي أبعد أكثر من ذلك بما مقداره ثلاثة آلاف مرة، وهي مسافة يقطعها الضوء في أربع سنوات. والنجوم عبر المجرة كلها تبعد عن بعضها البعض بمتوسط مسافة يقرب من 4 أو5 سنوات ضوئية، ممتدة في مجموعها لمسافة تقدرب 100 ألف سنة ضوئية. ثم يمتد الظلام الشاسع مرة أخرى حتى نجد أقرب جيراننا من المجرات، أي سحب ماجلان التي تبعد 200 ألف سنة ضوئية. وليس هناك بعدها إلا فضاء شاسع، وغازات مظلمة، حتى نصل إلى مجرة النجوم الرئيسية التالية أي «المرأة المسلسلة»، على بعد مليوني سنة ضوئية، أي أبعد بمقدار عشر مرات من بعد المجرتين التابعتين لنا. وأقرب كوازار (أجرام هي أشباه نجوم) لنا يقع على بعد 10 آلاف مليون سنة ضوئية. وهذا يزيد على نصف المسافة إلى بدء الزمان، ذلك أن الكون قد ولد لحظة الانفجار الكبير منذ ما يقرب من 20 ألف مليون سنة ضوئية.

وشمسنا عندما ينظر إليها من الأرض تبدو ساطعة جدا لأنها جد قريبة منا، ولكنك لو وضعتها ضمن أحد الأبراج فلن تكون مرئية، بل مجرد نجم غير ملحوظ ومثير للضجر. ولو نظرنا من سحابة ماجلان إلى مجرتنا، أي نظرنا إلى مجرتنا من الخارج، فما من مخلوق سيلحظ الشمس. هبنا ننظر إلى درب التبانة من الخارج، فأين يا ترى ستكون الشمس؟

إن أكبر ملمح ملحوظ في مجرتنا هو الانتفاخ الساطع المركزي. ولكننا لا نعيش هناك. ويتفرع من المركز أذرع لولبية كثيفة (انظر شكل 4- 2). ونحن لا نعيش هناك أيضا ولكنك تصبح هنا أقرب للدفء. وقد كان يظن ذات يوم أن الأرض هي في المركز من المنظومة الشمسية. لكننا نعلم الآن أن الأمر ليس كذلك، بل إن الشمس نفسها ليست في المركز من المجرة. وفضلا عن ذلك فإن مجرتنا كلها ليست شيئا يذكر بشكل خاص، فهي مجرد مجرة محاطة بمجرتين صغيرتين-سحب ماجلان-وتتكرر مثيلاتها في كل الكون، وتتميز المرأة المسلسلة لمجرد قربها لنا.

إن هناك وسيلتين للاختفاء وأكثرهما فعالية هي عدم التميز أو الضياع وسط حشد. والنجوم في المجرة كثيرة كثرة حبات الرمل على الشاطئ. ونحن مجرد نقطة من ملايين من النقط غير المتميزة تقع عند الأطراف. وها نحن مجرد علامة هي (X) في الشكل 4- 2. وما من أحد يعيش في

مجرة المرأة المسلسلة سيلقي على شمسنا نظرة ثانية، هذا إذا افترضنا أنه رآها أصلا! ترى كم من الموجودات هناك تدور حول أحد النجوم التي لم يتسن لنا حتى أن نلحظها؟

ومن المستحيل أن تبقى ساكنا وأنت تشد بجاذبية كل هذه النجوم والمجرات. وكل النجوم التي في مجرة واحدة تشد جماعيا تلك التي في مجرة مجاورة. والمجرات بأكملها في حركة. وقد ظلت المجرات عبر الدهور تثير إحداها الاضطراب في الأخرى، وهو ما يؤثر في مستقبل الكون على المدى البعيد. أما ما يهمنا أكثر على المدى المباشر فهو سلوك النجوم من داخل مجرتنا نحن، والنجوم القريبة منا الآن بالذات.

وكما أن المجرات في حالة حركة كذلك النجوم الواقعة داخلها. وكما تسبب الشمس والقمر حركة المد والجذر على الأرض، كذلك تسبب المجرات القريبة حركة مد وجزر داخل مجرتنا نحن. وتظل النجوم مشدودة على هذا النحو أو ذاك طيلة الدهور. وتدور مجرتنا مثل عجلة لولبية هائلة. وهذا السائل من النجوم هو في حالة من الدفق المضطرب، في خلال الانسياب العام هناك حركة فوضوية. ومنذ أن بدأت تقرأ هذه الجملة ستكون الأرض قد تحركت 100 ميل حول الشمس؛ وستكون الشمس قد تحركت 1000 ميل في دورتها حول المجرة، ويكون سديم الجوزاء قد حرك نفسه 100 ألف ميل أخرى بعيدا عنا. فالكون لا يسكن، وكل شيء في كل مكان يتحرك. ولكن ليس كل شيء في المجرة يتحرك مبتعدا عنا. فالكويكبات تقطع بالفعل مسارنا محليا، وليست هي فحسب، بل وعلى المقياس الأكبر فإن كوكبة الجاثي تتحرك حاليا تجاهنا وتقترب منا بسرعة 15 ميلا في كل ثانية.

والمجرة ليست مزيجا متجانسا من النجوم، فكل منها يبتعد ابتعادا محكما عن أقرب جيرانه. أما فيما حولنا من جوار فإن الأمور هادئة نوعا. فخلال مسافة تبعد عن الشمس 17 سنة ضوئية لا يعرف إلا 45 نجما ولا يوجد أي احتمال لأن يسبب أي واحد منها الاضطراب لنا في المستقبل القريب. ولكن الأمور تختلف مسافة لا تبعد عن ذلك كثيرا. فهناك تجمعات عنقودية مثل القلائص والثريا، وكلاهما يرى بالعين المجردة، فيها نجوم تتقارب تقاربا وثيقا ويبلغ عددها نحو مائة نجم. ويقع هذان التجمعان على

بعد يزيد بقليل على 100 سنة ضوئية.

ورغم أن النجوم القريبة منا تبدو موزعة عشوائيا، فإنه توجد تجمعات عنقودية كثيرة مثل هذه على مسافات أكبر. وأوضاع هذه التجمعات «ليست» عشوائية. فهي تقع جميعا في درب التبانة، أي مجرتنا هذه ذات الصحن المسطح. وهذا الصحن المسطح يسمى المستوى المجري ويشكل الخط المركزي لدرب التبانة، والذي نراه قوسا ساطعا عبر الليل. وهذا المستوى مسطح جدا في واقع الأمر. فهو أرفع بمقدار خمسمائة مرة من قطره، وهو أضيق نطاقا بمقدار15 مرة مقارنة بالكواكب في منظومتنا الشمسية. وأعضاء هذه التجمعات العنقودية حديثة العهد جدا، ومعظمها سطع لزمن أقل من زمن وجود البشر. وهي مربوطة معا ربطا مخلخلا بحيث يفلت واحد منها كل 100 ألف سنة. وبهذا المعدل من التبخر فإن هذه التجمعات لا يمكنها أن تبقى لأكثر من 100 مليون سنة. وبالتالي فلا بد أن تجمعات النجوم تتشكل وتتبخر باستمرار.

وعلاوة على هذه التجمعات حديثة العهد والتي يبلغ عددها مائة نجم، هناك أيضا تجمعات عنقودية متفرقة يصل عدد ما فيها من نجوم إلى مليون نجم. وهذه المجموعات الكروية تسمى تجمعات عنقودية كريّية (ذات كريات)، وهي قديمة العهد ومحشودة معا حشدا وثيقا، وعلى حين تبتعد التجمعات الصغيرة أحدها عن الآخر بما يزيد على ثلاثمائة سنة ضوئية وتنتشر عبر مستوى درب التبانة كله، فإن التجمعات الكريية تتركز داخل كرة حول مركز المجرة. وفي القلب من كل هذا الخضم الهائل يوجد ثقل أسود، وهو منطقة تبلغ الجاذبية فيها درجة هائلة من القوة بحيث لا يستطيع أي شيء الفرار من شدها حتى ولا الضوء نفسه.

ولو أمكننا أن ننظر إلى المجرة من الخارج فسوف نرى شكلا لولبيا شبيها تماما بالشكل المألوف لسديم المرأة المسلسلة. واللوالب الكثيفة من نوع لوالب عجلة كاترين تسمى «الأذرع اللولبية». وهي مناطق انضغاط تصل فيها النجوم سريعة الحركة إلى نقطة تزاحم كتزاحم حركة المرور في الطريق، فهي تدخل من الخلف منحشرة لتخرج أخيرا من الأمام. والقياسات الدقيقة لأوضاع الكثير من النجوم والتجمعات النجمية تبين أن مجرتنا شبيهة بهذا. وفضلا عن ذلك فإن بإمكاننا أن ننظر إلى المجرات البعيدة

من خلال تليسكوباتنا لنجد مجرات عديدة أخرى لها نفس الشكل.

وما من شك أن ما يزيد على نصف النجوم يشكل قرصا مسطحا نسميه نحن درب التبانة، وأنها تدور حول مركز المجرة بما يشبه كثيرا دوران الكواكب حول الشمس. ولكن هذا الدوران لا يماثل بالضبط دوران الكواكب. فهناك فارق مهم لم يفهم بعد فهما كاملا ويمكن أن ينطوي على نتائج مهمة بالنسبة لمستقبل الأرض.

إن الكواكب تدور حول شمس مركزية-ومعظم كتلة المنظومة الشمسية هي في المركز، ولا يوجد ما ينافسها عند الأطراف. وإحدى النتائج المترتبة على ذلك هي أن الحركة تكون أبطأ كلما اتجهت للخارج أكثر. ومن هنا فإن عطارد يتحرك سريعا جدا، بينما تتحرك الأرض بسرعة معتدلة، أما أورانوس البعيد جدا. فيتحرك بخطى أبطأ كثيرا. ولو أن النجوم في مجرة ما كانت تدور حول كتلة مركزية لكانت تتبع أيضا القاعدة نفسها (الأقرب للداخل يدور دورانا أسرع، والأبعد للخارج هو الأبطأ). ولكن هذا لا يحدث في الواقع الفعلي. فالنجوم التي تقع في الأطراف تتحرك تقريبا بالسرعة نفسها لتلك التي تقع بالقرب من المركز نفسه. إن من المفترض أن الجاذبية المركزية ضعيفة عند الأطراف، وبالتالي فإن النجم الذي يتحرك هناك سريعا ينبغي أن يفلت لينطلق مبتعدا عن العجلة الدوارة. إلا أن النجوم تتمكن بطريقة ما من أن تبقى مربوطة للعجلة. وتبدو المجرات وكأنها أجسام صلبة، وكان الفضاء مملوء بقوى ضخمة غير مرئية تسهم كلها في الشد الكلي، فتزيد من سرعة المناطق الخارجية على حساب المركز وتمسك بها إلى الأبد داخل المنظومة.

فما هذه المادة المظلمة؟ إن لك كل الحق في أن تسأل هذا السؤال. وهو يشكل حاليا أحد أبرز الأسئلة في علم الفلك وفيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية. ويتمثل أحد الاحتمالات في أن هناك نوعا من المادة جديدا بالكلية يتخلل الكون ولم ندركه حتى الآن. وسنتناول ذلك في الفصل الحادي عشر. وهناك احتمال آخر أكثر اقترابا من واقعنا الأرضي إذا جازت الاستعارة، يتمثل في أن هناك عددا كبيرا من الأجرام المصنوعة من المادة العادية، ولكنها باردة ومعتمة، وليست ساخنة بما يكفي لأن تسطع. وهذه الأجرام قد تشكل كرات من الغاز مثل المشتري، ولكنها أضخم كثيرا.

وإذا ما كانت هناك نجوم كهذه، فما عدد الموجود منها من حولنا؟ يخامر بعض علماء الفيزياء الفلكية نوع من الظن في أن للشمس قرينا معتما، هو نمسيس. وهذا القرين للشمس يمكن أن يكون أقرب نجم لنا، على بعد يقل عن 100 يوم ضوئي. وباللغة الكونية يمكننا القول إنه يقع في فنائنا الخلفي نفسه. وتتحرك المنظومة الشمسية هي ونمسيس، إن كان له وجود، حول المجرة معا. ولو أنهما تعديا على حدود النجوم الأخرى، فإن حركتهما ستضطرب. ونمسيس بدوره يمكن أن يثير الاضطراب في سحابة أورت ذات المذنبات ويجرف الملايين منها إلى المنظومة الشمسية.

وهكذا فإننا على المدى الطويل نحتاج إلى أن نعرف كيف يكون المدار من حول المجرة، وأي مخاطر قد نلقاها في هذا الطريق. إن دوران الأرض سنويا حول الشمس يأخذنا في عام واحد عبر حلقات من حطام صغير تنشأ عنها وابلات الشهب. وتستغرق الرحلة حول مركز المجرة 200 مليون سنة تظهر خلالها احتمالات أكثر غرابة.. إن التاريخ المسجل يمتد لفترة عشرة آلاف سنة فحسب، وهي مجرد جزء من عشرة آلاف من دورة واحدة. وهكذا فإن الحياة لم تشهد سوى ساعات معدودة من يوم صيف وليس لدينا أي خبرة بأغوار الشتاء.

وخلال هذه الرحلة نمر خلال مناطق خاوية، ونمر أيضا خلال مناطق عديدة محتشدة بكثافة، ونلاقي أحد «الأذرع اللولبية» مرة كل 60 مليون سنة أو نحو ذلك، وتصبح فرص الاصطدام أعظم في هذه الأوقات.

إننا في الوقت الحاضر في منطقة هادئة حيث نسبة المخاطر ضئيلة جدا. لكن ما الذي يحمله المستقبل يا ترى؟ وأي مفاتيح لدينا فيما يتعلق باللغز الديسمبري في السنة المجرية؟ إن المفاتيح تأتي من الماضي. والأرض عمرها 20 سنة مجرية، وهكذا فإنها قد مرت خلال الأذرع اللولبية مرات كثيرة. ورغم أن البشر لم يكونوا موجودين ليسجلوا ما حدث فإن الحفريات تمدنا بالمفاتيح لما كانت عليه الأمور.

الغبار للغبار

إن كل عالم، بل وكل من فتن بالطبيعة، بوسعه أن يتذكر اللحظة السحرية في طفولته التي بدأ عندها افتتانه بها. ويتذكر جين هايدمان عالم الفلك

بمرصد باريس، كيف حدث في إحدى الأمسيات بعد غروب الشمس مباشرة أن كان المريخ الأحمر هو وكوكب الزهرة الناصع البياض قريبين معا عند الشفق. وقال أبوه: «منذ ثلاثة شهور كنا بأعلى هناك، بين الزهرة والمريخ». وكانت لحظة كشف مذهل بالنسبة للصبي الصغير أن يحس أنه قد سافر كل هذه المسافة في هذه الفترة الزمنية المحدودة، فسفينة الفضاء التي هي الأرض قد نقلته، ونقلتنا جميعا معه، عبر فضاء ثلاثي الأبعاد، وها هو الآن يستطيع أن ينظر ثانية إلى حيث كان.

إن «الفضاء» يمتد امتدادا شاسعا، والكواكب والنجوم والمجرات إنما هي جزء تافه من الحجم الكلي للكون. والمسافات ما بين هذه الأنواع الثلاثة من الأجرام يشار إليها على الترتيب بوصفها مسافات «ما بين الكواكب» و«ما بين النجوم» و«ما بين المجرات». ولكن أيا منها ليس خاويا. لقد لقينا من قبل الريح الشمسية التي تتكون من جسيمات تحت ذرية تتخلل المنظومة الشمسية وتشكل غالبية الوسط بين الكواكب. أما الوسط ما بين النجوم فيتكون من غازات هي أساسا الهيدروجين والهليوم وهباء من غبار دقيق.

ورغم أن الفضاء ليس خاويا، فإن كثافة الغاز رقيقة جدا في معظم الأماكن، لدرجة تقل كثيرا عما يمكن إنتاجه بأحسن المفرغات على الأرض. وإذا أرسلت شعاع ضوء ليسطع عبر المجرة فسوف يلقي وهو في طريقه للخروج من جو الأرض غازا بكميات أكبر مما سيلقاه في باقي رحلته عبر المجرة، ثم عندما يخرج لرحابة الكون.

وحجم المجرة ضخم جدا لدرجة أنه رغم كون الغازات رقيقة جدا في المتوسط فإنها توجد بكميات هائلة. وإذا ما أجمعت مقاديرها كلها فسوف تصل إلى ما يزيد على 10 بلايين ضعف كتلة الشمس، أي نحو 10 في المائة من الكتلة الكلية للمجرة كلها. ويتركز معظمها في الأذرع اللولبية للمجرة، وذلك في طبقة لا تزيد على ما يوازي 100 سنة ضوئية من طرف للآخر. وبعض سحب الغاز تكون جد معتمة بحيث تمنع مرور الضوء الآتي من النجوم البعيدة، ويعد «جوال الفحم» الواقع في صليب الجنوب مثالا لذلك. وتحوي هذه السحب نوع الغازات نفسها الموجودة في السحب الساطعة أو «السدم»، ولكن هذه الأخيرة لديها نجوم على مقربة منها تضيئها، وخلال قيام الشمس برحلتها حول المجرة هي وما برفقتها من الكواكب، تلاقي

بصفة دورية سحب الغبار وتمر من خلالها. ونحن نفعل ذلك في الوقت الحاضر، وإن كانت السحابة التي نلقاها جد رقيقة ولا تؤثر فينا تأثيرا ملحوظا. والواقع أن ذلك يوفر فرصة فريدة لنعرف الطريقة التي سوف تتأثر بها الأرض والشمس عندما نمر من خلال سحابة كثيفة، مثل تلك الكائنة في الأذرع اللولبية للمجرة.

إن السحابة التي نمر من خلالها حاليا ليس فيها شيء من ذلك. فلا يوجد فيها ما يزيد على ذرة هيدروجين أو ذرة هليوم في كل 10 سنتيمترات مكعبة. ونحن نتحرك من خلالها بسرعة 12 ميلا في الثانية أي نحو 50 ألف ميل في الساعة، وهذه السرعة هي نحو ثلثي السرعة التي ندور بها حول الشمس وتهب السحابة من ناحية كوكبة (برج) القنطورس متجهة إلى كوكبة ذات الكرسي. ونتيجة لهذا الاكتشاف بدأنا في السنوات الخمس عشرة الأخيرة فحسب في فهم التفاعل بين الشمس والوسط الذي ما بين النجوم.

ولو سحابة كهذه طوقت نجما حرارته أشد خمس مرات من حرارة الشمس، فإن الحرارة المشعة منه يمكن أن تنزع ذرات الهيدروجين عن السحابة، مخلفة غازا من جسيمات حرة هي إلكترونات ذات شحنة سالبة وبروتونات ذات شحنة موجبة تعرف بـ«البلازما»، وتعرف هذه المنطقة من البلازما باسم «كرة سترومجرن» وامتدادها قد يبلغ 100 سنة ضوئية، بحيث تطوق نجوما عديدة. ويعد سديم الجوزاء مثالا للتعايش بين نجوم شابة ساخنة والوسط الذي ما بين النجوم. والاستعراض الضوئي الناجم عن ذلك يجعل لسديم الجوزاء منظرا من أروع مناظر سماء يناير، ومشهدا مفضلا للملصقات والكتب المصورة لعلم الفلك.

وقد حملت الصواريخ كشافات حساسة عاليا فوق جونا وسجلت تأثير سحابة الغبار في ضوء الشمس. وليس في سلوكها ما يشبه توهج الجوزاء. وبدلا من ذلك سجلت الآلات ضوءا فوق بنفسجي كثيفا منتشرا له طول الموجة المميزة لاستثارة هيدروجين متعادل غير متأين. وهذا يبين أن الهيدروجين المتعادل موجود في الفضاء ما بين الكواكب بكميات كبيرة.

وفي أول الأمر كان ذلك بمنزلة مفاجأة لأن العلماء كانوا يعتقدون أن أي هيدروجين في هذه المنطقة ينبغي أن يتأين بوساطة الشمس. ثم أتى الحل

على يد هانز فاهر وبيتر بلوم من جامعة بون. فغاز ما بين النجوم يغمر المنظومة الشمسية، ولكننا نندفع من خلاله بسرعة كبيرة جدا بحيث إن ريحه الهوجاء تهب مندفعة إلى بعيد داخل المنظومة الشمسية قبل أن يتأين الغاز بأشعة الشمس.

وإذا كان اللقاء بسحابة رقيقة هو أمرا لا يكاد يلحظ، فان اللقاء بسحابة كثيفة كما في الأذرع اللولبية للمجرة، يمكن أن يؤدي إلى تغيرات في الكرة الأرضية.

تخيل أنك تأخذ حمام شمس في يوم من أيام الصيف المألوفة في بريطانيا. ستكون الحرارة عندئذ نحو 25 درجة مئوية، ثم تمر سحابة عبر الشمس، ستهبط درجة الحرارة شيئا قليلا لا غير، ولكنك ستبدأ بالفعل في حساب سرعة السحب: «هل ينبغي أن أظل راقدا هنا لأعرق في الشمس» أو «هل أنهض وأرتدي قميصا؟».

حسنا، لقد كان هذا ما حدث لي بالضبط، فأثناء قيامي بالكتابة كانت السحابة قد مرت وسطعت الشمس ثانية، لكن هناك سحبا أخرى سوف تأتي وإنني لأتساءل كيف تكون الحال لو ظلت السحب من حولنا بصفة دائمة. بل إن الأمور تبدو أحيانا، في بريطانيا أو شمال أوروبا، وكأنها طوال الوقت هكذا! ولكنك تستطيع دائما أن تذهب إلى جنوب فرنسا أو كاليفورنيا أو المناطق الاستوائية حيث تنال الدفء. ولكن افرض أن ثمة سحبا موجودة باستمرار بين الشمس وكل الأرض. في هذه الحالة ستبرد الأرض كلها لدرجات معدودة ونحن حساسون لتأثير البرودة عندما تقل الحرارة بدرجتين لا غير. وذلك هو الفارق الطفيف بين أن يكون حمام السباحة محتملا وبين أن يثير الخدر، أو بين أخذ حمام شمس أو الذهاب إلى داخل المنزل، أو بين «اللحاف» وتشغيل التدفئة داخل الدور.

إن السحب التي فوق رؤوسنا لا يتعدى أقصى ارتفاع لها عدة مئات من الأمتار. أما الشمس الذهبية فتبعد بمائة مليون ميل، أي أنها أبعد من السحب بمئات الملايين من المرات. ولو كانت هذه المسافة الفاصلة مليئة بسحب الغبار لدخلنا في نوبة برد لها دلالتها. وذلك هو ما يحدث بالفعل كل 100 مليون سنة أو ما يقرب عندما نلاقي الأذرع اللولبية الكثيفة للمجرة.

والذراع اللولبي هو منطقة تفيء فيها نجوم ساطعة قصيرة الحياة سحبا

كبيرة من غبار وغاز ما بين النجوم. ويتعين أن تتحرك النجوم والغاز من خلال اللوالب الكثيفة لأنه إن لم يحدث ذلك فستصبح اللوالب ملفوفة لفا وثيقا بسبب معدل الدوران المتمايز للمجرة كلما تحرك المرء بعيدا عن المركز. وتشير حقيقة أن اللوالب تظل باقية تدل على أن ثمة نمطا موجيا معينا يتحرك خلال قرص النجوم والغاز، مثلما هي الحال في ازدحام مروري في طريق رئيسي. فحركة المرور تصل إلى مؤخرة منطقة الازدحام على حين العربات التي في المقدمة تفلت منها. وإذا نظرت إلى منطقة ازدحام المرور من أعلى لفترة من الزمن فسترى الانسداد يتحرك وراء حتى يأتي الوقت الذي تجد فيه السيارة أسيرة الازدحام نفسها في المقدمة وتفلت للحرية. وتمثل منطقة ازدحام المرور والأذرع اللولبية أنماطا تتحرك من خلالها الأجسام.

وقد وجد علماء الفلك من ملاحظاتهم للتكوينات اللولبية أن الأجسام تدخل الذراع عند حرفه الداخلي أو المقعر حيث يوجد تراكم للغبار. وذلك نوع من التأثير الموجي الاصطدامي يحدث بموجبه أن تنضغط السحب لفترة وجيزة وهي تعبر حارة الغبار هذه وتمثل هذه السحب المنضغطة مواقع تشكيل النجوم الجديدة وأكثر هذه النجوم لمعانا تضيء الذراع وهي تتحرك في طريقها، لكنها تحترق قبل أن تخرج إلى منطقة ما بين الأذرع.

وقد تمر المادة التي تدور من حول المجرة خلال أمواج الانضغاط هذه عدة مرات قبل أن تنضغط بما يكفي لتقليصها إلى نجم. وفي كل مرة تمر فيها من خلال ذراع تتشكل نسبة صغيرة فحسب من المادة المنتشرة لتكون نجما وإلا لكانت الأذرع قد اختفت.

وقد تشكلت شمسنا هي وكواكبنا في سحابة مضغوطة منذ ما يقرب من خمسة بلايين من السنين.. ومنذ ذلك الوقت درنا جميعا حول المجرة 20 مرة ولاقينا أذرعها اللولبية ما يقرب من خمسين مرة، أي بمعدل مرة كل 100 مليون سنة على وجه التقريب. ويستغرق اجتياز الجزء الرئيسي من الذراع 10 ملايين سنة نظل لمدة مليون سنة منها في حارة الانضغاط.

وقد ربط عديد من الباحثين بين العصور الكبرى والالتقاء بسحب الغبار في الأذرع اللولبية. وتحدث العصور الثلجية كل 250 مليون سنة تقريبا، وتظل باقية لملايين معدودة من السنين. وهي تحوي عدة فترات جليدية

يمتد كل منها ما بين 100-200 ألف سنة. وقد انتهت آخر فترة جليدية من نحو 11 ألف سنة.

إن هذه الحقائق جميعا تتفق مع الفكرة القائلة بملاقاتنا لسحابة غبار في ذراع لولبي. ونحن في الوقت الحاضر عند الحرف الداخلي لذراع أوريون، وقد دخلنا حارة انضغاط منذ مليون سنة وخرجنا منها حديثا. كما أخرجنا أخيرا فحسب من فترة جليدية. كذلك يتفق الوقت الذي يستغرقه المرور من خلال السحب مع ما نعرفه عن الفترات الجليدية. فالشمس تتحرك بسرعة تقارب 12 ميلا في الثانية بالنسبة لأقرب النجوم، وسرعة 3- 15 ميلا في الثانية بالنسبة لسحب الغبار المنفردة. وهناك العديد من السحب الرقيقة (مثل هذه التي نمر من خلالها حاليا) التي لا تؤثر فينا، أما السحابة الكثيفة، والتي تكون في حالتها النموذجية في حجم سنة ضوئية، فلها شأن آخر،. ونحتاج إلى المرور من خلالها بسرعة من 12 ميلا في الثانية إلى 50 ألف سنة.

وقد ذهب فريد هويل ور. ليتلتون، منذ وقت مبكر يعود إلى 1939، إلى أن هناك صلة بين العصور الثلجية وهذه اللقاءات بالمجرة. وقام ويليام ماكري أخيرا بتطوير وتوسيع آرائهما هذه وهو يرى أن هناك أسبابا قوية للاعتقاد في وجود رابطة بين العصور الثلجية وملاقاة سحب الغبار ما بين النجوم. لكن الطريقة التي يحفز بها الإشعاع الشمسي بدء العصر الثلجي مازالت موضع الحدس، فعلم الأرصاد مازال محدودا. إلا أن هناك سمات لظاهرة الارتباط تفرض نفسها. فالسحب عالية الكثافة موجودة «بالفعل» وينبغي أن تمر الشمس من خلالها. وعندما تفعل فلا بد أن إشعاعها سيتأثر. والدورات الزمنية للفترات الجليدية ومداها يتفقان أيضا مع هذه اللقاءات.

فإذا كانت العصور الثلجية العظيمة يمكن تفسيرها على هذا النحو فلن نكون بحاجة إذن إلى اللجوء إلى الآراء الأكثر إثارة مثل الرأي القائل إن الشمس متغيرة بحكم طبيعتها. ولن نكون بحاجة بعد إلى أن نتوقع فترة جليدية كبرى، وذلك لزمن طويل.

وقد تكون ملاقاة الأذرع اللولبية هي السبب أيضا في انهمار المذنبات على المنظومة الشمسية. ونحن الآن في فترة سكون، لكننا عندما نلاقي

بعدها سحابة كثيفة، فقد نتوقع زيادة في مخاطر الاصطدام.

وهناك بعض الدلائل على أن انقراض النبات والحيوان يحدث على فترات طولها 150 مليون سنة تقريبا، وذلك منذ الدهر القديم أي منذ 600 مليون سنة. وتشير العينات التي أخذت من صخور القمر إلى أن اصطدامات الشهب بالقمر تصل إلى ذروتها على مدى زمني مماثل. وقد حدث آخر اصطدام من هذا النوع الانتقالي منذ نحو 60- 70 مليون سنة عندما كانت الحياة الحيوانية قد انبعثت في التو. وفي هذا العهد اختفت الديناصورات. وإذا كان هذا كله صحيحا فإننا نكون في منتصف الطريق بين نقلات من هذا النوع. ولقد مثلت فترة المليون سنة التي عاشها البشر هنا فترة هدوء. ونحن ننزع إلى التعميم وافتراض أن هذا هو النظام الطبيعي للأمور، ولكن الحال لن يظل دائما آمنا هكذا.

أساليب حياة النجوم

تعمل الطبيعة عبر مدى كامل من المقاييس الزمنية. فالنجوم تعيش بلايين السنين، والبشر يعيشون بالعقود، والحشرات تعيش ساعات معدودة فحسب. ولكن حياتنا بأحد هذه المقاييس لا تمنعنا من أن نكون مدركين لتطور الآخرين. فلنهبط إذن إلى الأرض ولنتخيل منظرا ممتعا آمنا.

إنه يوم دافئ من أيام الصيف. وهناك إحدى العائلات تتنزه إلى جانب نهر. وينام طفل وليد في شمس الأصيل. وهناك أطفال أكبر يلعبون مع الوالدين. أما الأجداد فينعسون. وتستمتع اليعاسيب بلحظة وجودها الوجيزة وهي تحوم فوق الزنابق. ومدى حياتها ليس إلا جزءا من المليون من حياة البشر. ومتوسط حياة الإنسان ليس إلا جزءا من المليون من عصر جيولوجي، وهذا بدوره لا يتعدى واحدا في المائة من عمر الكون. وهكذا فإن البشر بالنسبة للنجوم هم مثل اليعاسيب بالنسبة للبشر على ضفة النهر.

هب اليعاسيب كانت شديدة الذكاء. في هذه الحالة ستكون خلال لحظات حياتها مدركة للحيوات السبع للإنسان المتمثل في مجموعة المتنزهي. ورغم أن حياتها هي بالمقارنة قصيرة جدا، فإن اليعاسيب سترى دلائل على وجود حيوات تظل لمدى زمني أطول كثيرا، وسترى التطور الذي مر به أفراد البشر بالفعل، أو الذي يتعين أن يمروا به.

ونحن بدورنا كحشرات بشرية ندرك أحقاب الزمن الأعظم. فما يعد عندنا بثلاث سنوات أو عشر يشابه فترة ما بعد الظهر عند اليعسوب. وعندما ننظر إلى النجوم فإننا نرى ماضي شمسنا ومستقبلها. فهناك سدم مضيئة، ونجوم تتولد، ونجوم في منتصف العمر مثل شمسنا الآن، ونجوم في حالة شيخوخة، تماثل مستقبل الشمس عندما تموت.

ذلك أن النجوم لا تتماثل كلها-ويمكنك أن ترى ذلك بعينيك. الجوزاء هو واحد من أشهر الأبراج. وإذا كنت تعيش في نصف الكرة الشمالي، فسيمكنك في ليلة شتاء صافية أن تعثر على نجم منكب الجوزاء الأحمر الناصع عند الزاوية العليا اليسرى للمنكب. وبالقرب منه يوجد نجم كلب الشعري وهو نجم ساطع ذو لون أبيض مزرق. كما يمكن في سماء الصيف رؤية نجم النسر الواقع في برج القيثارة. وفي نصف الكرة الجنوبي يمكن رؤية صليب الجنوب الذي يحوي ثلاثة نجوم بيضاء مزرقة ونجما واحدا أحمر.

ويمكنك باستخدام النظارات المعظمة أن ترى ملايين النجوم في حشد من الألوان. وتدلك هذه الألوان على درجة الحرارة عند سطح النجم. فكما أن نيران المدفأة الكهربائية تتوهج في لون برتقالي-أحمر ثم يصبح لونها أصفر ما أن تزداد دفئا، فان النجوم كلما كانت أسخن أصبح لونها أبعد في ألوان الطيف. فنجم «النسر الواقع الأزرق» يسطع عند درجة حرارة 30 ألف مئوية، وشمسنا الصفراء درجة حرارتها 6 آلاف، على حين يسطع منكب الجوزاء الأحمر عند درجة حرارة 3 آلاف.

إنك تستطيع أن تحس بدفء النار قبل أن تبدأ في التوهج، ويصدق ذلك على النجوم. فالنجوم التي هي أبرد من أن تبعث ضوءا مرئيا يمكنها رغم ذلك أن تبث أشعة حرارية، أي الأشعة تحت الحمراء. وفي 1984 قام القمر الصناعي إيراس بمسح السماوات وأرسل إلينا كما هائلا من المعلومات عن أفراخ نجوم المستقبل. ومازال علماء الفلك يفرزون هذه الثروة من المعلومات الجديدة من خلال كمبيوتراتهم، ولكنهم عرفوا بالفعل أشياء كثيرة عن تشكيل النجوم.

لكن كيف تتشكل النجوم ؟

ما من أحد أجاب عن هذا السؤال إجابة كاملة ومفصلة ومقبولة للكل. ومع ذلك فإن لدينا فكرة جيدة نوعا عن المخطط العام للأشياء تأتت لنا من

مراقبة سلوك أنواع عديدة مختلفة من النجوم في الأجزاء البعيدة من الكون، ومن وضع الأدلة المختلفة معا هي والخبرات المكتسبة من عقود من الملاحظة.

إن دورة الطبيعة هي دورة حياة تؤدي إلى الموت، الذي يضع بدوره بذرة حياة جديدة. وتعد الفصول على الأرض دورة سريعة ومصغرة عند مقارنتها بالنطاق الأضخم والأبطأ للكون على إطلاقه. ويهيئ موت بعض النجوم أسباب الحياة للجيل التالي. ويمكن لنوازل انفجار نجوم السوبرنوفا (انظر الفصل التاسع) أن تدمر الكواكب القريبة والحياة القريبة (إن كان هناك حياة في مكان آخر)، تماما مثلما يمكن لانفجار قنبلة تقليدية أن يدمر المادة الجامدة الواقعة على مقربة منها. وهذه الانفجارات الكونية ترسل أيضا موجات اصطدامية خلال الغازات التي ما بين النجوم فتجعلها تتضغط. وفي بعض المناطق يصبح الغاز مركزا بما يكفي لتكوين تكتلات. وتزيد ثخانة بقع الغيوم هنا وهناك.

وتبدأ الجاذبية في ممارسة تأثيرها، فتتشد هذه التكتلات الواحد للآخر هونا ولكن بإصرار. وبالتدريج وعبر آلاف وملايين السنين يتقلص الغاز إلى كرة هائلة. ووزن هذه الكرة نفسها يجعلها تستمر في الانكماش إلى حجم أصغر فأصغر. ويستمر الأمر هكذا حتى لا يبقى هناك أي فراغ إلا إذا حدث شيء يمنع ذلك. وتحدث اصطدامات عشوائية بين الذرات تولد حرارة وضوءا. ويبدأ الغاز يسطع. وتقاوم الحرارة التي في الداخل شد الجاذبية المتجه داخليا.

ودرجة حرارة الغاز وهو في حالة السكينة تعلو الصفر المطلق بثلاث درجات، وهي درجة شديدة البرودة إذ توازي-270 درجة مئوية. وعندما تأخذ الذرات في الاصطدام معا، ترتفع درجة الحرارة، حتى تصل أخيرا إلى الحرارة المألوفة على الأرض. وهي درجات أقل كثيرا من أن تؤدي إلى توهج مرئي، ولكن الغاز يكون قد بدأ بالفعل في بث إشعاع حراري على مستوى منخفض، أي أشعة تحت حمراء.

وليس للسحب الشديدة الخفة من الهيدروجين الوزن الكافي لأن تتقلص تحت تأثير شد الجاذبية، وبالتالي فإنها لا تسخن عند المنتصف بما يكفي لأن تبدأ عمليات الاندماج النووي-الحراري. وهذه النجوم الفاشلة هي سحب

من غاز بارد مثل كوكب المشتري. ويمكن أن يكون هناك الكثير من تلك «الشموس المظلمة» فيما حولنا، مثل نمسيس، والذي يشتبه في أنه الرفيق المظلم للشمس. وهذه النجوم المظلمة كانت غير مرئية في الماضي، وقد أصبح العلم الآن فحسب قادرا على الكشف عنها عن طريق حرارتها تحت الحمراء.

وهناك آلات تصوير خاصة حساسة للحرارة يمكنها «تصوير» الأشياء بالحرارة التي تبثها. وهي تستطيع تصوير جسد الإنسان بوساطة حرارته. وقد أرسلت الكاميرات تحت الحمراء لأعلى فوق الأقمار الصناعية وأرسلت لنا صورا لغازات بدأت تسخن هكذا. ونحن نقول عن هذه المرحلة من التسخين إنها «نجم أولي». وفي النهاية يسخن الغاز بما يكفي بحيث يترك الإشعاع تحت الأحمر مكانه لتوهج معتم من لون أحمر مرئي.

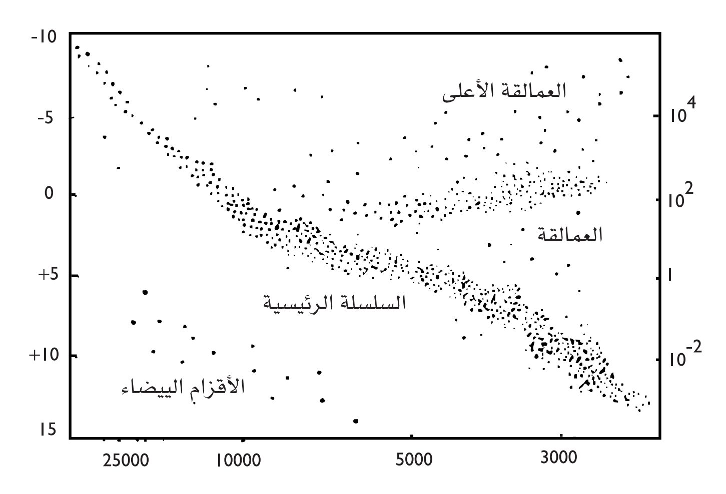
لكن الجاذبية تواصل ضرباتها «للحباحب»[*2] الواهنة هذه، معتصرة النجم حتى تبدأ التفاعلات النووية. وفي النهاية ينبثق فرخ نجم مكتمل التشكيل من نجوم «السلسلة الرئيسية». وتسيطر على النجم التفاعلات النووية. وتندمج ذرات الهيدروجين لتكون الهليوم. وترتفع درجة الحرارة ارتفاعا مذهلا إلى 10 ملايين درجة أو أكثر. وتلك هي النقط اللامعة التي نسميها نجوما.

وهكذا فإن النجوم في حالة صراع داخلي: فالجاذبية تشدها للداخل على حين الاندماج النووي الحراري يبقيها حية. وتعتمد مرحلة الصراع على قدر الشد الجذبي (الحجم) وحالة المفاعل الذري (كمية الوقود الناقع المتخلفة عن التفاعل ومن أي نوع يكون).

وقد استغرق الأمر من السحابة التي بين النجوم عدة ملايين من السنين فحسب حتى تكثفت وبدأت تسطع كنجم. وأنا أقول «فحسب» لأن هذا زمن قصير كونيا. فهو يعادل، على سبيل المثال، الفترة الزمنية التي عاشها البشر على الأرض. فالسحب الواقعة مابين النجوم التي تكثفت عندما بدأ الإنسان النياندرتالي يمشي على كوكب الأرض تسطع الآن في صفحة السماء.

(*2) الحُباحب، :glow worm حشرة مضيئة وتسمى أيضاً «سراج الليل». (المراجع)

وقد استنبط هانزيث، وهو عالم ألماني المولد ويعمل الآن بجامعة كورنيل بالولايات المتحدة، تسلسل التفاعلات النووية التي تسوق النجوم. وهو ما يفسر تنوع النجوم التي نراها. وقد جعلنا ذلك ندرك أن النجوم الكائنة في السماء ليست دائمة، وإنما هي تتغير باستمرار. كما مكننا ذلك بوجه خاص من استقراء مستقبل شمسنا.



شكل (8- 1): أنواع النجوم حسب الرسم البياني لهرتزبرونج-راسل المقدار المطلق لنصوع النجم مرسوم على المحور الرأسي ودرجة حرارته على المحور الأفقي. والنجوم الأنصع في أسفل الشكل والنجوم الأسخن إلى اليسار. والنجوم الباردة إلى اليمين تسطع حمراء، والنجوم الأسخن عند المنتصف صفراء، أما النجوم الساخنة جداً إلى اليسار فهي زرقاء. وتوزع النجوم ليس عشوائياً. فالكثير منها يتجمع في شريط ضيق عند قطر المستطيل يسمى السلسلة الرئيسية. وهناك مجموعة أخرى تمتد أفقياً فوق ذلك وتعرف بالغصن العملاق. والنجوم الباردة المعتمة كبيرة جداً وتسمى «العمالقة» و «العمالقة الأعلى» (تسمى العمالقة «الحمراء» بسبب لونها). والنجوم الناصعة الساخنة الصغيرة هي الأقزام (زرقاء وبيضاء). وتقع شمسنا حاليا قرب المنتصف من السلسلة الرئيسية.

ولكي نضع شمسنا في موقعها الراهن من التطور النجومي فسيتطلب ذلك مخططا لتصنيف النجوم التي نراها. وقد توصل إلى فكرة تصنيف النجوم حسب نصوعها وحرارة سطحها كل من العالم الفلكي الدنمركي إجنار هرتزبرونج والأمريكي هنري راسل-كل منهما مستقلا عن الآخر-(في 1911, 1913 حسب الترتيب) وهاتان الخاصتان تكفيان لتعرف حالة النجم

ومصيره النهائي. ويمثل الرسم البياني لهرتزبرونج-راسل خريطة للنجوم (انظر شكل 8- 1) ويقيس المقياس من اليسار إلى اليمين درجة الحرارة، على حين المقياس من أعلى لأسفل السطوع الحقيقي (أي نصوع النجم لو كنا نراه على المسافة نفسها التي نرى بها الشمس، ويأخذ ذلك في الحسبان حقيقة أن بعض النجوم تبدو معتمة لأنها بعيدة جدا، على حين لو تنظر عن قرب قد تكون أشد سطوعا من الشمس بكثير). وهكذا فإن النجوم عند الجانب الأيمن تكون ساخنة حتى الاحمرار، وتلك التي في المنتصف ساخنة حتى الاصفرار والبياض، والتي إلى اليسار تكون زرقاء. والنجوم الساطعة جدا عند القمة، على حين النجوم المعتمة تكون لأسفل.

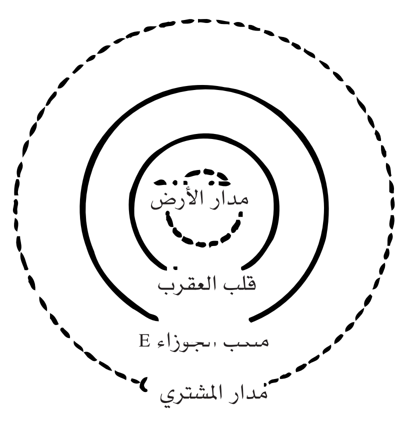
وسطوع الشمس يضعها في نحو المنتصف من الخريطة، بينما تضعها حرارتها في منتصف الطريق تقريبا من الخريطة. وإذ نفعل الشيء نفسه لكل نجم من النجوم كلها سنجدها مبعثرة على الرسم كله.

حسنا، ليس على كل الرسم تماما. فأنت تلحظ في التو أن النجوم ليست موزعة عشوائيا. فمعظمها يقع على خط يعرف بالسلسلة الرئيسية التي تشمل الشمس. وهناك حفنة من نجوم بيضاء معتمة، أو الأقزام البيضاء، بأسفل إلى اليسار. أما النجوم الحمراء العملاقة فيكثر عددها نوعا عند الزاوية العليا إلى اليمين.

ويعتمد مقدار الزمن الذي يقضيه النجم في المناطق المختلفة على مدى كبره. فالنجوم الضخمة سيتم امتصاصها بتأثير جاذبيتها لحيز ضيق بأكثر من النجوم الصغيرة. أما ما يمنع تقلصها فهو الحرارة التي تنبعث من احتراق وقودها الذري. وهي إذ تحترق، فإنها تصبح أسخن حتى تصير مستقرة. وأسخن وأنصع نجوم السلسلة الرئيسية هي أثقلها (الزاوية اليسرى العليا). وهي تحرق الوقود بسرعة كبيرة جدا لتولد الحرارة، وهكذا فإن حياتها تصبح أقصر. وقد يكون موتها موتا دراميا له عاقبة عجيبة، كما سنرى في الفصل التاسع، وتحرق النجوم الأقل ضخامة وقودها بشح أكثر: فجاذبيتها أقل سحقا، وهي تحتاج إلى حرارة أقل لإبقائها متماسكة، فتعيش هذه النجوم زمنا أطول. وشمسنا نجم من هذا النوع.

ونجم مثل الشمس يمكن أن يسطع هكذا ويظل مستقرا لفترة تمتد لعشرة بلايين من السنين. وهي تحول في كل ثانية 600 مليون طن من

الوقود الهيدروجيني إلى هليوم. ويوجد من الهيدروجين ما يكفي لأن يستمر ذلك لخمسة بلايين سنة أخرى. وعمر المنظومة الشمسية يقارب الآن 4,5 بليون سنة، وهكذا فإن الشمس في منتصف الطريق تقريبا من مخزونها الهيدروجيني.



شكل (8- 2): أحجام النجوم. هناك تباين هائل في أحجام النجوم. والنوع الذي يبلغ قطره نحو نصف مليون ميل مثل شمسنا، هو شائع. وأكبر النجوم هي الحمراء من العمالقة والعمالقة الأعلى. ونجم «قلب العقرب» قطره 300 ضعف قطر الشمس، ولو وضع في مركز المنظومة الشمسية فسوف يبتلع مدارات عطارد والزهرة والأرض. أما منكب الجوزاء في برج الجوزاء فهو حتى أكبر من ذلك. وعلى الطرف الآخر فإن الأقزام البيضاء حجمها نحو حجم الأرض، بينما يبلغ عرض نجوم النيوترون أميالا محدودة فحسب.

وعندما تستنفد الشمس كل الهيدروجين من قلبها المركزي، فإن التفاعلات النووية-الحرارية سوف تنتشر للخارج. وفي هذه العملية، سوف تتمدد الشمس سريعا لمائة مرة وتصبح عملاقا ناصعا أحمر. وسيتم ابتلاع الكواكب الداخلية، أي يتم تبخرها. ولن يكون للأرض وجود.

وستبقى الشمس لعدة آلاف من السنين في طور العملاق الأحمر وهي غير مستقرة. وقد تصبح نجما «متغيرا» يتمدد وينكمش كل بضع ساعات. وسيدفعها ضغط الغاز من داخل الشمس للخارج بما يتجاوز حجمها المتوسط حتى تشدها الجاذبية ثانية. وتظل الشمس تتمدد تمددا فائقا لتعود فتصغر مثل بندول يتأرجح. وهناك أمثلة كثيرة على نجوم كهذه في السماء. ومنكب

الجوزاء، أي النجم الأحمر الناصع في برج الجوزاء، يتغير حجمه تدريجيا بما يصل إلى ما يتراوح بين 300 و400 ضعف لقطر الشمس (ولكي يسهل علينا إدراك ما يعنيه ذلك فلنتخيل الشمس وقد ابتلعت الأرض وامتدت لما وراء المريخ).

وفي النهاية ينتهي كل الاحتراق النووي داخل القلب. ولا يبقى وقود ليقاوم قوة الجاذبية. ويتقلص النجم بتأثير وزنه هو نفسه. ثم يصبح قزما أبيض. ورغم عدم وجود مصدر للطاقة في الداخل ليولد حرارة وضوءا جديدين فإن النجم يبرد ببطء شديد بحيث إنه يظل يسطع لبليون سنة أخرى.

وهكذا سوف يأتي يوم بعد نحو 4 بلايين سنة، تشرق فيه الشمس لآخر مرة على الأفق الشرقي. وعندما عرف جمهور من المستمعين في واشنطن أن الشمس لم يبق لها سوى 4 بلايين من السني، سأل أحد الأفراد في شيء من الذعر «هل قلت 4 بلايين أو ملايين؟» وعندما أكد له أنها 4 بلايين جلس مطمئنا.

ويبين هذا مدى صعوبة اكتساب الإحساس بالأرقام الكبيرة، لذلك دعنا نصف أسلوب حياة الشمس بالمقياس الزمني المألوف لنا أي المدى الزمني لحياة الإنسان: أي قرن من الزمان.

في هذه الحالة سيستغرق أي طور النجم الأولي، يومين اثنين فحسب. ثم تنفق الشمس 80 عاما من عمرها بمقياسنا البشري في السلسلة الرئيسية، حيث تستهلك وقودها الهيدروجيني. وعندما ينفد ذلك الوقود تصبح عملاقا أحمر متغيرا غير مستقر لمدة أسبوعين، ثم تنفق ثماني سنوات في التقاعد، تعيش فيها على احتياطاتها حتى تموت نهائيا. وبمقياسنا الزمني هذا فإن عمر الشمس الآن، وهو نحو 40 سنة، أي عند المنتصف من طورها الراهن «النشط»، وهو الوقت الذي وصل فيه الذكاء إلى الأرض فالحياة تبدأ عند الأربعين!

وتعد الشمس مثالا نموذجيا لنجوم كثيرة، وذلك هو السبب في أننا نستطيع أن نعطي تأكيدات واثقة هكذا عن مستقبل دورة حياتها. ومن المطمئن لنا أن نتبين أن الشمس لا يزال أمامها مستقبل صحي طويل المدى، وأن الأرض لن تتحول فجأة إلى فرن نجمي من ذاتها (أسطورة أخرى من

أساطير هوليود تم تفنيدها على نحو مشكور).

وعلى أن بعض النجوم في السماء سيتغير شكلها بطريقة كارثية. وإذا حدث ذلك لنجم على مقربة منا فإن النتائج قد تكون خطيرة جدا. ورغم أن شمسنا ستشكل عملاقا أحمر ثم تتقلص إلى قزم أبيض، فهي لن تفعل ذلك إلا ببطء. ولو كانت الشمس أثقل بخمسين في المائة، لمرت في هذه الأطوار بسرعة أكبر كثيرا. بل إنها ربما تكون قد ماتت الآن بالفعل، إذ يصبح تقلصها غير محكوم، ويندفع انفجار ذري عبر الفضاء. والنتيجة النهائية لكارثة كهذه هي «نجم نيوترون»، أي نواة ذرية في حجم مدينة. ولو كان النجم عند بدايته أثقل حتى من ذلك، فإنه قد ينتهي كثقب أسود في الفضاء.

فلنحاول إذن أن نعرف المزيد عن نجم النيوترون، وانفجار السوبرنوفا الذي ينتجه.

٩ النجوم المتفجرة

في عام 1967 كانت جوسلين بل طالبة فلك في كمبردج، حيث كانت تعمل تحت إشراف أنتوني هيويش، وهو وقتها أحد علماء الفلك المبرزين المتخصصين في الموجات اللاسلكية (الراديو). وهكذا فبدلا من رصد النجوم بالوسائل البصرية فإنهما كانا يبحثان عن مصادر الموجات اللاسلكية الآتية من الكون.

كان التليسكوب اللاسلكي يواصل يوما بعد يوم إمعان النظر في الأجزاء المختلفة من السماء في أعماق الفضاء. وكان العمل روتينيا إلى حد كبير. وكانت فكرتهما هي أن يقيسا حجم المصادر- «الكوازارات»-بأن يريا مقدار وميضها. ونحن نألف فكرة أن النجوم تومض عندما يمر ضوءها خلال الجو، بينما لا تومض الكواكب القريبة بحجمها الزاوي الأكبر. وبالقياس بالتماثل، فإن موجات الراديو المنبعثة من مصادر صغيرة نسبيا سوف تومض وهي تمر خلال الريح الشمسية بينما تلك التي تأتي من مصادر أكبر ستكون أقل اضطرابا.

وسجلت «بِلّ» ومضات إشارات لاسلكي كثيرة إلى أن لاحظت ذات يوم وميضا يبدو شاذا. كان الوميض يبدو «رديئا»، فقد كانت هذه هي الطريقة

التي وصفته بها لأنتوني هيويش وهي تناقش معه ما يمكن أن تفعله بشأنه. واقترح هو أن تنصب الجهاز بحيث يستطيع أن يسجل الوميض بسرعة أكبر-حتى تستبين إشارة اللاسلكي وهي تخفق جيئة وذهابا. وعندما فعلت ذلك اكتشفت أن هذه الرداءة قد تحللت إلى سلسلة من النبضات، تنبض، بانتظام مرة كل ثانية أو نحو ذلك.

وظن الاثنان أنهما قد التقطا إشارة من إحدى أجهزة الإرشاد اللاسلكي، إلا أنه اتضح بعد إجراء تحريات تفصيلية أن هذه الإشارات ليست ناجمة عن مصدر أرضي. فما هذا الذي يحدث ؟

وعلى سبيل الدعابة اقترح أعضاء القسم الذي يعملان فيه أن هذه الإشارات هي من رجال خضر صغار Little Green Men-LGM. والتقطت وسائل الإعلام هذا الاقتراح وروجته. وقال هيويش إنه إذا كانت الإشارات حقيقية فإنه من المستبعد أن يكونا قد وقعا على الإشارة الوحيدة في الكون كله، واقترح عليها أن تبحث عن المزيد من الإشارات. وسرعان ما ظهر مثلان آخران وأصبحت «النابضات» أمرا معترفا به رسميا.

لقد اكتشفا نوعا خاصا من النجوم تبث إشاراتها مثلما يفعل المنار، إذ يلف الضوء ليدور ويدور. وهكذا لا نرى الضوء اللامع إلا عندما يكون الشعاع متجها إلينا. ثم إنه يلف ليدور بعيدا عنا، فلا نرى شيئا منه حتى يتوجه إلينا ثانية.

كانت عمليات الملاحظة التي تقوم بها تنطلق في الأصل بالنجوم التي تبث موجات لاسلكي، وهكذا كان يتم التقاطها بالتليسكوب اللاسلكي. والآن أصبحنا نعرف النابضات التي تبث ضوءا مرئيا وتومض وتنطفئ نحو ثلاثين مرة في الثانية إذ يلف الشعاع ليدور ويدور. والنجوم المسؤولة عن ذلك نوع خاص من النجوم يتكون كلية من جسيمات تحت ذرية تسمى النيوترونات. وقد ظل وجودها أمرا مشتبها فيه طيلة 30 سنة، ولكن أحدا لم يتوقع أن لها إشارة نابضة مثل ضوء المنار. ومن هنا كانت البلبلة الأولى عندما اكتشفت جوسلين بل أول إشارة.

ونجوم النيوترون هي الجمرات الخامدة من شموس أثقل وزنا، فهي المنتج النهائي لانفجار كارثي دمر نجما ضخما. وينفجر الغلاف الخارجي للنجم في الفضاء، ليغطي في الثواني الأولى مسافة لا تصدق تصل إلى 30

ألف ميل. ويمثل اللب المتبقي حزمة كثيفة من النيوترونات-أي كتلة تلك الشمس وقد انضغطت في كرة لا يزيد حجمها على مدينة نيويورك.

ونجوم النيوترون أجرام خلابة. فالانفجار الذي يولدها يمكن أن يضيء السماء. وهذا المشهد المتألق يسمى «سوبرنوفا» («نوفا» باللاتينية تعني «جديد». والتوهج الصادر عن القزم الأبيض يسطع سطوعا فائقا Super bly، ومن هنا يسمى «سوبرنوفا»). والأمر يشبه أن تشاهد انفجارا ذريا هائلا عبر الفضاء. ولو حدث انفجار كهذا على مقربة منا فإنه سيعني نهاية الحياة على الأرض. وإذا لم يفنيا الإشعاع النووي في التو، فإن موجة الصدمة هي والحطام الذي يتبعها سوف يمزقان الغلاف الجوي للأرض.

وقد انفجر أحد السوبرنوفات في 23 فبراير 1987 في السحابة الماجلانية الكبيرة، وهي مجرة قريبة تابعة لمجرتنا، وتبعد 200 ألف سنة ضوئية، وهي مسافة بعيدة بما يكفي لئلا يصيبنا ضرر، وهي قريبة في الوقت بما يكفي لإثارة علماء الفلك والفيزياء. وقد كان الانفجار مرئيا بالعين المجردة في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية-وتلك أول مرة يحدث فيها ذلك منذ اختراع التليسكوب. ويكشف هذا عن مدى أهمية الأمر. وهكذا كان كل فرد يرقب الحدث عن كثب. وسنذكر فيما بعد المزيد عن هذا المشهد وما تعلمناه منه، لكن قبل ذلك فلنتساءل: ما الذي نعرفه حتى الآن؟

الطريق إلى نجم النيوترون

هل حدث لك قط أن وجدت نفسك أسفل «كومة» من الأفراد، كأن تكون مثلا تحت كومة من لاعبي كرة الرجبي وقد سقطوا بعضهم فوق بعض،

وكلما تزايد الوزن المكدس من فوقك، يصبح الضغط غير محتمل أكثر فأكثر. فكر كيف يكون الحال عند قاعدة أحد الجبال. إن ضغط الصخور القابعة فوق الجبل، والمكومة عاليا لمسافة أميال، يمكن أن تشكل ضغطا ساحقا بالمعنى الحرفي للكلمة.

إن قمة جبل إفرست ترتفع 5,5 ميل فوق سطح الأرض. لكن جزيرة هاواي، إذا حسبناها من قاعدتها تحت الماء حتى القمة، يمكن اعتبارها أعلى جبل في العالم، حيث ارتفاعها يصل إلى 6 أميال. ولا يمكن لجبل على الأرض أن يظل باقيا إذا زاد ارتفاعه على 12 ميلا. ذلك أن المادة التي

عند القاعدة سوف تنساب كالسائل بسبب ضغط الصخور عند القمة.

فالجاذبية أداة سحق لا ترحم. والتفاعلات النووية الحرارية هي التي تقاوم قوة الجاذبية في النجوم، لكن حتى رغم ذلك فإن مركز الشمس كثافته أكبر من كثافة الماء بمائة ضعف. وعندما ينفد الوقود النووي، تعجز النجوم عن أن تحفظ نفسها ضد الجاذبية. وفي الحالات القصوى، كما في حالة نجوم النيوترون، يمكن أن يكون وزن ملء كستبان من المادة هو مئات الأطنان.

والمادة وهي الكثافات القصوى تتخذ أشكالا غير مألوفة في الأرض.

إن هناك عناصر مختلفة كثيرة تدخل في بناء العالم من حولنا، لكنها كلها تشترك في شيء واحد. فالمادة التي صنعنا منها فيها فراغ إلى حد ملحوظ. ونحن نستطيع أن نضغط الطين في كرات صغيرة باستخدام قوة اليدين. وحتى المعادن يمكن كبسها تحت ضغط دق الخوازيق. والصخور في أسفل الجبال قد تصبح سائلة بتأثير الضغط. وعلى المستوى الذري هناك مسافات فراغ أكبر من المادة! فالحجم الذري لا تشغل المادة منه سوى أقل من جزء من البليون-والمادة هنا هي إلكترونات تدور من حول نواة من البروتونات والنيوترونات.

وحتى يصبح لدينا فكرة عن مدى الفراغ الموجود في الذرة، فنتخيل قطر ذرة الهيدروجين (إلكترون واحد يدور حول بروتون وحيد). وقد كبرنا مقياسها إلى ما يصل إلى طول مسار لحفرة ملعب الجولف يبلغ 500 متر. وهذا أكبر مسار تجده ولاعب الجولف الماهر يستنفد ثلاث أو أربع رميات بارعة للوصول بالكرة من كومة الرمل(*) إلى الخضرة والهدف هو حفرة ضئيلة قطرها من 2- 3 سم على الأكثر تسمى الدبوس(*1). وحجم الدبوس بالمقارنة مع طول المسار الهائل هو كحجم النواة بالمقارنة إلى مدى اتساع الذرة. وكل المسافة من كومة الرمل إلى الخضرة ثم إلى الدبوس هي مثل مسافة الفراغ في الذرة. (وإذا كنت من متعصبي كرة البيسبول يمكنك أن تتخيل حبة بسلة في نقطة المركز عند الرامي).

إن عرض الذرة يبلغ نحو جزء من مائة مليون من السنتيمتر، وهو مقدار

(*) Tee كومة الرمل التي يبدأ لعب الجولف بوضع الكرة عليها .(المترجم)

(*1) Pin سارية علم تدل على حفرة صغيرة في مسار كرة الجولف.(المترجم)

ضئيل على نحو لا يمكن تخيله. على أن النواة أصغر من ذلك 100 ألف مرة. وبينما تقوم القوة الكهربية والمغناطيسية بربط الإلكترونات بالذرة ربطا مخلخلا، فإن النواة تتماسك معا بفعل قوى شديدة يمتد مفعولها فحسب لجزء من مليون من المليون من المليمتر. وعند هذه المسافات القصيرة تسود القوى النووية على كل شيء آخر-فالجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية تعدان من الأشياء التافهة عند مقارنتهما بها.

ويتحدد حجم الذرة بسحابة الإلكترونات خفيفة الوزن التي تدور في دوامة في مناطق الأطراف. وتتحكم هذه الإلكترونات في السلوك الكيميائي والخصائص الفيزيائية للمادة في كوكبنا. ونحن في ممارساتنا اليومية على دراية بالقوى الكهرومغناطيسية وبالإلكترونات، حاملات الكهرباء، أما القوى النووية فلا تؤثر فينا تأثيرا مباشرا (وإن كانت نواتج العادم من النشاط الإشعاعي تسبب مشاكل سياسية هائلة). وتحمل البروتونات الموجودة في الذرات المتعادلة كهرباء موجبة توازن الإلكترونات ذات الشحنة السالبة. ويمكننا أن ننظر إلى البروتونات على أنها تضمن تعادل الذرات، أما النيوترونات المتعادلة فهي مطلوبة لتجعل النواة مستقرة. وتوفر البروتونات والنيوترونات معا 95 ,99 في المائة من كتلة مادة الأجسام، مثل جسمي وجسمك.

وهكذا فنحن مصنوعون من ذرات، وكتلتنا تتركز في أقل من جزء من البليون من حجم هذه الذرات. ويمكن قول ذلك بطريقة أخرى، وهي أن كثافة المادة النووية أكثر بليون مرة من كثافة المادة المألوفة لنا في الأرض.

وبإمكاننا كبس الذرات لتصبح الواحدة منها أقرب إلى الأخرى، ولكننا لا نستطيع أن نضغط ذرات منفردة. فحجم الذرة ثابت بالطبيعة ويعتمد على ثوابت لا تتغير مثل شدة القوى الكهرومغناطيسية وكتلة الإلكترون.

على أن الجاذبية هي أداة الضغط النهائية. وكلما أضفنا المزيد والمزيد من المادة، فإن ضغط وزنها يصبح شديدا جدا حتى لتتحطم الذرات. ولا تظل الإلكترونات باقية بعد في مداراتها وإنما تزاح من مكانها. وبدلا من مادة تحوي ذرات مكونة من نوى تدور حولها الإلكترونات كالكواكب، فإنه يصبح لدينا نوى تقبع وسط غاز كثيف متجانس من إلكترونات تتدفع محتشدة في كل مكان. وهذا الشكل من المادة، أو البلازما، هو أكثر أشكال المادة

انتشارا في الكون. أما نحن الذين على الأرض، بجمال الماسات والبللورات، وبالكيمياء والبيولوجيا، وبالحياة فحالتنا هي الاستثناء. فالبلازما هي التي تسود.

هذا الغاز المكون من إلكترونات حرة هو الذي يمكن أن يحدث هنا لو أننا ظللنا نضيف وزنا إلى الأرض. فعندها لن تستطيع إلكترونات الذرة أن تبقي على وجود البنيات المنتظم. وسوف تنهار الأرض لتصبح غازا كثيفا متجانسا من إلكترونات ونوى.

وكما عرفنا من الفصل الثاني، فإن هناك حطاما يهوي باستمرار إلى الأرض، مضيفا إلى كتلة الأرض. على أن هذه الإضافة هي من التفاعل بحيث إنه لا حاجة بنا للانزعاج منها. وسيتطلب الأمر أن تكون كتلتنا أكبر من كتلة المشتري بكثير حتى ينال التغير من حالة الأرض الصلبة.

وما أن تتمزق الذرات حتى تصبح عاجزة عن أن تقاوم الانسحاق. فإذا أضيف المزيد والمزيد من المادة فستكون النتيجة هي قزما أبيض. وهذا يعني نجما كتلته مثل كتلة الشمس ولكنه صغير مثل الأرض. ولن تكون هناك بروتونات حرة متاحة في غاز الإلكترونات والنوى الذرية حتى تندمج وتبقي على التفاعلات النووية الحرارية وبالتالي ينحشر وزن طن كامل في كل سنتيمتر مكعب (أي في أقل من ملء ملعقة شاي).

فماذا يحدث إذا ما ذهبنا إلى أبعد من ذلك؟ إن الحجم الذري ما أن يتمزق حتى يمكن ضغطه 100 بليون مرة. والضغط الذي تحشده الجاذبية لهذه المهمة هو أعظم مليون بليون مرة من أي شيء يمكن الوصول إليه في معمل على الأرض، وعلى ذلك فليس هناك ما يدعو للخشية من أن نحدث في أنفسنا قارعة أرماجدون على يدي عالم مجنون يسحق المادة ويغير من طبيعة الأرض. ونحن لا نستطيع أيضا أن نغير النجوم ولا الكواكب.

إننا لا نستطيع ذلك، لكن الطبيعة تستطيع، بل وتفعل ذلك.

ففي الأقزام البيضاء تصل الكثافة إلى مليون مثل لكثافة الماء. وفي أول الأمر لم يفهم أحد كيف يمكن الإبقاء على كثافات متطرفة هكذا دون أن يتقلص النجم. ثم مع اكتشاف البنية الذرية والقواعد التي تحكم استقرار الذرات تم بالتالي تفسير استقرار الأقزام البيضاء.

إن الإلكترونات تتحرك ببطء نسبي في هذا الغاز. وكلما زادت الكثافة

زادت سرعة الإلكترونات. وسرعان ما تقترب سرعتها من سرعة الضوء ولا يعود علم الرياضيات صالحا للتطبيق. وبدلا من استخدام قوانين السرعات المنخفضة سيتعين علينا أن نتجاوزها إلى قوانين السرعات العليا، أي عالم النظرية النسبية. ويتطلب ذلك عدة تغييرات في الرياضيات، وقد استنبط سبر أمانيان تشاندريسخار، عام 1930 النتائج المترتبة على ذلك. وقد فعل ذلك في ظل مجموعة من الظروف غير العادية.

كان تشاندريسخار-ولم يكن عمره عندئذ يتعدى تسعة عشر عاما-يركب سفينة في طريقه من مدراس إلى إنجلترا حيث ينوى إكمال دراساته. وحتى يقطع الوقت فإنه أخذ يحسب: ما تأثير زيادة الكثافة في قزم أبيض. ووجد نتيجة مذهلة: فالأقزام البيضاء لا يمكن أن يكون لها وجود لو أن كتلتها فاقت كتلة الشمس بما يزيد على 40 في المائة.

إن تأثير النسبية يتمثل في إضافة مقاومة الإلكترونات للشد الداخلي للجاذبية. وإذا أصبحت الكتلة كبيرة بما يكفي، أي أكبر من «حد تشاندريسخار» فإن الجاذبية هي التي تفوز ويتقلص النجم؛ ولا يصبح في إمكان القزم الأبيض أن يبقى بعد.

وأعاد تشاندريسخار فحصر حساباته ولم يستطع أن يجد أي أخطاء. وتلا ذلك أنه أخذ يتساءل ماذا يحدث لنجم مرشح لأن يكون قزما أبيض، ولكن كتلته أكبر مما ينبغي، أي أن فيه شدا للداخل بأكثر مما يسمح له بالبقاء. وفكر في أنه سوف يتقلص ويصبح ثقبا أسود، أي نجما كثيفا قوة الجاذبية فيه شديدة جدا بحيث تجر للوراء أي شيء قبل أن يفر منها. حتى ولو كان ذلك هو الضوء.

وهكذا فعندما رست السفينة، كان تشاندريسخار يمتلك سرا من أسرار الكون لا يعرفه أي واحد آخر من الأحياء. وأخبر بذلك آرثر إدنجتون، أحد علماء الفيزياء المبرزين وقتها. ولم يصدق إدنجتون ذلك. ولم يصدقه أيضا آخرون من كبار العلماء. فمن يكون هذا الفتى ذو التسعة عشر عاما الذي يجري حساباته في رحلة سفينة ثم يعلن موت النجوم؟ إن الأمر كله يبعث على الضحك.

ولكن تشاندريسخار كان مصيبا، كما تبين الناس تدريجيا. وقد يكون من السهل الآن، من منطلق زمننا الحالي، أن ننتقد إدنجتون والآخرين،

ولكن الدعوى كانت غريبة تماما عن التفكير السائد وقتها. أتتحطم النجوم حقا. وبعد ذلك بسنوات عديدة تم الاعتراف بعبقرية تشاندريسخار، وفاز عن عمله هذا بجزء من جائزة نوبل في عام 1983.

على أن تشاندريسخار لم يكن مصيبا في شيء واحد، هو اعتقاده بأن القزم الأبيض الزائد الوزن سوف يتقلص إلى ثقب أسود. ولم تكن هذه بمنزلة غلطة، ففي ذلك الوقت كان هذا هو الاستنتاج المنطقي، وربما كان هذا في جزء منه بمنزلة الحاجز النفسي الذي منع العلماء من تقبل نظريته مباشرة. فلم يكن يعرف وقتها أن هناك أي قوة يمكنها أن تمنع الإلكترونات والبروتونات التي في النجم عن أن تتقلص للداخل بتأثير الجاذبية. ففي عام 1931 كانت الإلكترونات والبروتونات هي الجسيمات الذرية الوحيدة المعروفة. ولم يكن أحد يعرف بعد أن هناك نيوترونا-النظير المتعادل كهربيا للبروتون-داخل نوى الذرات. إذ لم يكتشف النيوترون إلا عام 1932 وقد وفر وجوده العنصر الحرج المفقود في حكاية النجوم.

بعد أن اكتشف إرنست رذورفورد، عام 1911، وجود نواة الذرة والبروتونات ذات الشحنة الموجبة، اقترح إمكان وجود جسيم متعادل يتكون من إلكترون سالب الشحنة قد تم امتصاصه في أحد البروتونات. بعدها قال أفراد كثيرون بوجود نوعين من الجسيمات النووية-البروتون الموجب الشحنة ونظيره المتعادل وهو النيوترون. وقد كادت أيرين ابنة ماري كوري أن تكتشف النيوترون مبكرا عام 1932، ولكنها أخطأت تفسير نتائجها. وقام رذورفورد، وكان وقتها أستاذا بجامعة كمبردج، بحث زملائه على الانطلاق إلى بحث عن الأدلة التي من هذا النوع، وعلى الفور أدرك نائبه جيمس شادويك أن أيرين كوري ربما كانت تنتج نيوترونات. وبدأ في التو يعمل في حمية وبعد عمل استمر طوال ليلة بكاملها استطاع أن ينتج النيوترونات، وأن يحدد هويتها ويثبت وجودها. وانطلقت البرقيات معلنة الاكتشاف إلى المؤسسات العلمية البارزة في كل أنحاء العالم. وكان ليف لانداو العالم السوفييتي والنظري المبرز يزور كوبنهاجن وقتها، وفي التو أخذ يدرس دلالات هذا الاكتشاف. وفي ذلك اليوم نفسه عقد ندوة أعلن فيها أن نجوم النيوترون ينبغي أن تكون موجودة.

وهنا كانت تكمن الوصلة المفقودة في نظرية تشاندريسخار. فعندما

يعاني القزم الأبيض الزائد كارثة تقلص، فإن إلكتروناته وبروتوناته ينتهك كل منها حدود الآخر حتى تصل إلى النقطة التي يندمجان فيها ليكونا نيوترونات، فيتوقف التقلص. ويتخلف عن انفجار «السوبرنوفا» نجم نيوترون صغير.

وعلى ذلك فإن القزم الأبيض الأثقل قليلا من حد تشاندريسخار (أي أثقل من الشمس بأربعين في المائة) سوف يتقلص إلى نجم نيوترون، عرضه لا يتجاوز عدة كيلومترات. أما إذا كان القزم الأبيض أقل ثقلا من ذلك، كأن يكون مثلا في كتلة الشمس نفسها، فإنه قد يبقى كقزم أبيض أو ينتهي إلى نجم نيوترون (وتحوله إلى أحد الحالين يعتمد على الاضطرابات الأخرى التي سيمر بها). ويصل الحجم النمطي لنجم نيوترون كتلته كالشمس في النهاية إلى أن يكون قطره 12 ميلا-أي أن تكون كتلة الشمس محتواة في كرة حجمها مثل حجم أمستردام أو نيويورك. فإذا ما زادت الكتلة على 3,4 ضعف كتلة الشمس، فلن تستطيع حتى النيوترونات أن تمنع التقلص. وما لم يحدث حائل من عوامل جديدة مجهولة، فإن نجم النيوترون «سوف» يتحول إلى ثقب أسود.

ولو كنت على سطح نجم نيوترون، فستكون قوة الجاذبية أعظم بـ 100 بليون مرة عنها في الأرض. وعلى حين تكون الجاذبية على القمر أقل منها على الأرض بحيث يمكنك أن تقفز لعلو أكبر (يستطيع أي فرد وهو على القمر أن يحطم بسهولة الرقم القياسي «العالمي» للقفز!)، فإن الجاذبية على نجم النيوترون تكون شديدة جدا حتى ليبلغ وزن رأسك ما يبلغه وزن مائة باخرة من عابرات المحيط. بل إن الجبال هنا لن تستطيع أن تقاوم الشد إلى أسفل: فحتى جبل إفرست سيصبح علوه أقل من المتر. وستبرز قمته من خلال الجو الذي سيكون كل سمكه 5 سم. وسيكون تسلق الجبال مهمة تستنفد القوى، ذلك أن تسلق سنتيمتر واحد سوف يستنفد الطاقة المستهلكة خلال العمر كله.

هذا هو ما يزعمه علماء الفيزياء الفلكية، ولكن كيف يمكننا أن نتأكد من صحة ذلك؟

في الثلاثينيات من هذا القرن كانت نجوم النيوترون مجرد فكرة لا أكثر. فما من أحد رأى واحدا منها، وكان معظم الناس يشكون في أن أحدا

سيراها قط، حتى لو فرضنا أنها موجودة! ولم يحدث شيء طيلة 33 سنة تالية، حتى حل اليوم الذي لاحظت فيه جوسلين بل نبضة منتظمة تأتي من نجم بعيد وكأن شيئا ما أو شخصا ما يرسل إشارة.

هاهي نجوم النيوترون موجودة. بقايا السوبرنوفا، والدليل على جائحة حلت فيما مضى، هاهي هناك. ونحن نستنتج من عددها ومن عمر المجرة أن هناك انفجار سوبرنوفا يحدث في مكان ما بمعدل مرة كل 20 سنة. فما فرص حدوث سوبرنوفا قريب منا بما يكفي لأن يعد خطرا يتهددنا؟

السوبرنوفا

ترى ما الذي كنت تفعله في الساعة السابعة والنصف حسب توقيت جرينتش يوم 23 فبراير 1987؟ لقد كنت ساعتها أتناول إفطاري، ودون أن أدري مرت عاصفة من جسيمات النيوترينو الآتي من الشمس؛ ولكن التفجر المفاجئ في صباح فبرايرهذا كان أمرا مختلفا. لقد كانت عاصفة من نجم يموت، نجم على بعد 170 ألف سنة ضوئية في مجرة السحابة الماجلانية الكبيرة.

لقد ظل علماء الفيزياء الفلكية يؤمنون لأكثر من 25 سنة بأن التقلص بالجاذبية الذي يعتقد أنه يصاحب السوبرنوفا ونجم النيوترون أو تكون الثقب الأسود هو مصدر غني لجسيمات النيوترينو. والواقع أنهم ذهبوا إلى أن وميض الضوء الساطع-أي المظهر التقليدي للسوبرنوفا-ليس سوى جزء صغير من العرض الدرامي، لعله أقل من واحد في المائة من كل الطاقة الناجمة. أما معظم الطاقة التي يتم إشعاعها من التقلص فتخرج في شكل لا مرئي هو جسيمات النيوترينو.

على أن هذه كانت «غير مرئية» في الماضي، لكن الحال اختلف الآن بعد أن بنينا تليسكوبات النيوترينو. والمثير في الأمر هو أننا اكتشفنا في هذه الحالة لأول مرة، جسيمات نيوترينو تنبعث من خارج مجرتنا (فيما سبق رأينا فقط جسيمات النيوترينو المنبعثة من الشمس) لنثبت بذلك صحة النظرية، أي أنه عندما تتقلص النجوم فإنها تقذف طاقتها للخارج في شكل جسيمات نيوترينو.

ومازال المتطرفون من العلماء يتأملون في المعطيات، ويتعلمون المزيد

عن السوبرنوفا، وموت النجوم، بما يزيد على كل ما سبق. وتلك هي الذروة لقصة طويلة بدأت بفكرة أن السوبرنوفا هي آلام الولادة لنجوم النيوترون.

وأتت أول الإشارات لذلك مع اقتراح من و. بادوف. زوبكي، وهما فلكيان من ألمانيا وسويسرا عملا في مرصد مونت ويلسون بالولايات المتحدة عام 1934. وقد تبينا أن عملية التقلص إلى نجم نيوترون ستبعث قدرا ضخما من الطاقة. وهذا الإشعاع يبدو كوميض مفاجئ يظهر للرؤية في السماء مثل نجم جديد.

وبين حين وآخر تظهر بالفعل ومضات كهذه. ففي عام 1006 «سطع نجم جديد له حجم غير معتاد»، وقد «بهر الأعين، وتألق وسبب توجسا هائلا»، وظل يسطع طيلة ثلاثة شهور حسب التقارير التي وردت من أوروبا الوسطى. وذلك هو المثل الوحيد الذي لم تسجيله خارج منطقة الشرق الأقصى قبل عصر النهضة. وبالتالي فلا بد أنه كان ناصعا. وقد رآه الصينيون والعرب في 30 أبريل 1006. فهل يمكن أن يكون ذلك مثلا من أمثلة «السوبرنوفا»؟

حتى نجيب عن ذلك علينا أن نعرف أولا ما هو مقدار الطاقة التي تنبعث عند حدوث السوبرنوفا؟

فأنت تبدأ بقزم أبيض، كتلته توازي كتلة الشمس في حيز يوازي حجم الأرض، ونصف قطره عدة آلاف من الأميال. وبعد التقلص تتركز الكتلة من داخل كرة لا يتعدى عرضها سبعة أميال. وتكون كل كتلة النجم قد تهاوت عبر مسافة تقرب من ألف ميل. إن الأجسام الهاوية لها قدر كبير من الطاقة (أسقط قطعة طوب على قدمك إذا أردت برهانا!). وعندما تهوي كأس زجاجية من فوق مائدة فإنه يمكن أن يتحطم في ضجة، وتتحول الطاقة التي في حركته (الطاقة الحركية) إلى طاقة أمواج صوتية. وعندما يهوي شهاب تجاه الأرض فإنه يمكن أن يحترق ساطعا مثل القمر لثوان عديدة إذ تتحول الطاقة إلى ضوء. والآن فلنتخيل نجما بأكمله يهوي للداخل عبر مئات الأميال تحت تأثير شد الجاذبية.

إن الطاقة التي تنبعث تكون هائلة. وقد تعودنا أن نسمع عن قنابل هيدروجينية تقدر بالميجا طن (ملايين الأطنان). وتبلغ قوة قنبلة الميجا طن سبعين ضعفا بالمقارنة بقوة القنبلة التي ألقيت على هيروشيما. وتصل درجة الحرارة الناتجة عن انفجارها إلى5 آلاف درجة، أي أسخن من سطح

الشمس. وهذا عالم ينصهر فيه الآجر الحراري، وتتبخر كرات الصلب. ذلك ما ينجم عن مليون واحد من الأطنان. أما الكتل في حالة تقلص النجوم فهي من فئة مختلفة بالكلية-فئة ميجا طن لكل متر مكعب في حجم يبلغ حجم الأرض كلها. ويصل حجم الطاقة المنطلقة إلى ما يوازي حجم الطاقة التي تبعثها شمسنا في 1000 بليون سنة. وحيث إن الشمس يصل عمرها في الوقت الحاضر إلى ما يقرب من 5 بلايين من السنين فحسب فإن الطاقة المنبعثة في انفجار سوبرنوفا يصبح أعظم بما يزيد مائة مرة مما بعثته الشمس «منذ ما قبل بدء الأرض». ويفعل السوبرنوفا ذلك كله في أيام معدودة!

هاك علماء الفلك يرصدون العالم باستمرار. وفجأة وفي فترة تمتد أياما معدودة يرون نجما وقد أصبح أسطع عشرات البلايين من المرات. ولفترة وجيزة يستطيع هذا النجم الوحيد أن يصبح أكثر سطوعا عن مجرة نجوم بأسرها. وعندما يحدث سوبرنوفا في مجرة بعيدة فإنك تحدد أولا أي مجرة يسطع منها؛ وسوف يخبرك ذلك عن مدى بعده، حيث إن مدى بعد معظم المجرات معروف في حدود عامل واحد أو عاملين. ثم تقارن بعدها بين سطوعه وسطوع إحدى المجرات، ومن ثم تستنبط الطاقة الكلية التي يبعث بها.

ويمكننا بسهولة أن نوضح أن الطاقة الناتجة تتفق مع تقديراتنا. والملمح الحاسم هو أن السوبرنوفا يمكن أن يكون أكثر نصوعا عن مجرة بأسرها لأسابيع معدودة. ويحتوي النمط النموذجي للمجرة على 100-1000 بليون شمس. وشمسنا نحن ظلت تحترق لما يقرب من 1000 بليون يوم. أي أن ما ينتج عنها طوال حياتها يماثل الحصة اليومية الناتجة عن مجرة بأسرها. وهكذا فإذا كان السوبرنوفا ساطعا أكثر من مجرة بأكملها فإنه يباري الشمس في التاريخ كله.

ولعل أشهر ما تخلف عن سوبرنوفا هو سديم السرطان، الذي اعتبر «حجر رشيد» حياة النجوم وموتها. وقد انبثق هذا السديم سنة 4000 ق.م. وقذف الانفجار بإشعاع شديد ودفع بالغلاف الخارجي للنجم إلى قلب الفضاء. وانطلق عبر الفضاء، إشعاع يحوي أشعة إكس المميتة وأشعة جاما كما يحوي أيضا ضوءا مرئيا. وعلى بعد 5 آلاف سنة ضوئية كان كوكب

الأرض ينتظر، غير مدرك لموجة الضوء التي تقترب منه.

وفي وقت مبكر من صباح يوم 4 يوليو 1054 رأى الفلكيون الصينيون (الواقع أننا يمكن أن نسميهم «المنجمون» اليوم) نجما جديدا ساطعا يطلع في الشرق قبل الشمس مباشرة. وقد أسموه «النجم الضيف». وخلال الأيام القليلة التالية زاد سطوعه حتى أصبح أشد لمعانا من كل النجوم في السماء. وظل طيلة شهر شديد السطوع هكذا حتى أنه كان يلمع نهارا مثلما يلمع في الليل. كان هذا الضوء آتيا من السوبرنوفا. وقد أصبحت هذه الأشعة بعد سفر استمر خمسة آلاف سنه، أضعف من أن تسبب أي متاعب، لكن المشهد كان رغم ذلك مروعا. ثم أخذ الضوء يخبو تدريجيا وفي غضون 18 شهرا لم يعد بعد مرئيا.

ولا يقتصر الأمر على أن لدينا سجلات صينية لضوء السوبرنوفا المرئي، ولكن الأرض احتفظت أيضا بسجل لأشعة جاما.

ولو ذهبت إلى أماكن لم ينلها التغير فقد تجد السجلات القديمة مازالت باقية. وقارة القطب الجنوبي مثال فريد لذلك، حيث يستطيع العلماء، كلما حفرنا عميقا في طبقات الثلج، فحص معدل سقوط الثلج كل سنة على مدى ألف عام.

إن المطر والثلج يجلبان الغبار من الطبقات العليا للجو. المطر يجرف التراب، والثلج يحفظه. وعندما تصطدم أشعة جاما بالغلاف الجوي للأرض، فإنها تدمج النيتروجين والأكسجين الموجودين ليصبحا أوكسيد نيتروز. وفي قارة القطب الجنوبي تبين طبقات، الثلج التي تعود إلى مئات السنين الوجود المتزايد للنترات في السنوات التي تمت فيها رؤية سوبرنوفات. وهو ما يتلاءم مع النبض المفاجئ لأشعة جاما التي تصطدم بالغلاف الجوي للأرض.

أما بقايا حطام النجم، أي غلافه الخارجي، فتلا ذلك ببطء أكثر. فالضوء الساطع هو النذير بالصدمات التي ستأتي. وباستخدام التليسكوبات الحديثة يمكننا اليوم تمييز الحطام الآتي من سوبرنوفا السرطان. لقد انتقل بسرعة 30 ألف ميل في الثواني الأولى. ومازال يقترب منا بعد مضي 900 سنة، بمعدل سرعة يبلغ عدة أميال في كل ثانية، وهو أكبر الآن مما في الصور الضوئية التي التقطت عام 1899. ولكنه مازال على بعد يزيد على 6

آلاف سنة ضوئية، وبهذا المعدل من سرعته في التقدم فإنه لن يصل إلينا قبل بليون سنة أخرى. ولا داعي لأن ينزعج أفراد سلالتنا وقتها، لأنه آنذاك ستكون قوته قد استنفدت تماما. والاحتمال الغالب هو أن الغبار وهو في طريقه سيقع في قبضة جاذبية نجوم أخرى أو هو سيكون نجوما جديدة إذ تثير موجة الصدمة الاضطراب في الغاز الواقع في الفضاء ما بين النجوم.

وقد شوهد الضباب السديمي لأول مرة عام 1731 بوساطة عالم الفلك الإنجليزي جون بيفيز. وكان ذلك في برج الثور وإذا كان لديك تليسكوب فربما أمكنك أن ترى ذلك بنفسك. ويقع هذا البرج في الجزء نفسه من السماء الذي رأى فيه الصينيون عام 1054 «النجم الضيف». وفي القرن التاسع عشر كان إيرل روس الثالث الإنجليزي هاوي الفلك هو أول من تبين الزوائد المشابهة للسرطان التي تبرز من الطرف الجنوبي للسديم. وهذه الإشارة للمشابهة بأرجل وكلابات السرطان هي التي أعطت السديم اسمه الشائع.

ورغم أن السديم يبدو الآن معتما إلى حد كبير في الضوء المرئي، فإنه مازال يلمع ساطعا في الأشعة فوق البنفسجية، وتحت الحمراء، وأشعة إكس وبثات اللاسلكي. والواقع أنه يوضع في المرتبة نفسها مع أشد ما يسطع من كل الأجرام السماوية. فهو مازال يسطع بمثل سطوع 30 ألف شمس بالتمام.

وهو الآن في شكل بيضة، طولها 15 سنة ضوئية وعرضها 10 سنوات ضوئية. ونحن نعرف أنه يتمدد بمعدل عدة أميال في كل ثانية، وأنه يزداد بطئا بتأثير شد جاذبيته هو نفسه. ولو أدرنا الساعة وراء، فلا بد أنه كان في الماضي أصغر وأسخن كثيرا مما هو عليه الآن. وتدل الحسابات على أنه كان نقطة واحدة نحو سنة 1000 ميلادية، وهكذا يبدو حقا أنه بقايا سوبرنوفا من عام 1054.

وقد ظهر دليل آخر على صحة نظرية تطور النجوم مع اكتشاف نجم نيوترون في قلب سديم السرطان. وهو يبدو بوضوح بصريا وهو يخفق ليلتمع وينطفئ 30 مرة في كل ثانية. ولا يمكن أن يكون هناك أي شك في أن نجوم النيوترون هي بقايا من السوبرنوفات. وفي حالة السرطان تتوافر كل

العناصر: الرؤية البصرية للضوء عام 1054، وسجل أشعة جاما مجمدا في الثلوج، والحطام الذي مازال يقترب منا، بل وبقايا من نجم نيوترون.

وبعد سوبرنوفا السرطان في عام 1054 حدث سوبرنوفا آخر كبير في 7 أغسطس 1181. أما انفجارا السوبرنوفا التاليان فكانا متقاربين جدا إذ وقعا عامي 1572 و 1604. ووقتها كان علم الفلك والتليسكوبات مزدهرين ومن ثم فقد حدثا في الوقت المناسب وتم تسجيلهما جيدا. وقد لمع سوبرنوفا 1572 بسطوع فينوس نفسه (أي أسطع من كل شيء فيما عدا القمر). أما سوبرنوفا 1604 فكان أعتم قليلا، ولمع بدرجة سطوع المشتري، وهو منظر مازال يعد جميلا. ومن وقتها لم يحدث شيء لما يقرب من 400 عام حتى فبراير 1987 عندما انفجر سوبرنوفا قابل للرؤية بالعين المجردة.

والحقيقة أن هذا الحدث العنيف قد وقع بالفعل منذ 170 ألف سنة في السحابة الماجلانية الكبيرة، تلك المجرة التابعة لمجرتنا والتي يمكن رؤيتها في نصف الكرة الجنوبي. وقد انطلقت من الحطام ومضة ضوء أسطع من بليون شمس، وموجة متفجرة من جسيمات النيوترينو. وانتقلت هذه الجسيمات بسرعة 10 ملايين ميل في كل دقيقة مندفعة في سباق خارج مصدرها، لتترك المجرة متجهة خارجها عبر الفضاء ما بين المجرات، حيث لقاؤها-كما حدد عام 87- مازال بعيدا في المستقبل.

وكان يقبع أمامها درب التبانة الكبير، وفي داخله نجم قليل الشأن، هو الشمس، تدور من حوله من الصخر انتظمت الجزئيات فوق سطحها في شكل حياة. وأكثر أشكال هذه الحياة تقدما هم البشر وكانوا وقتها قد تقدموا إلى العصر الحجري.

وواصلت قذيفة الإشعاع انتقالها قدما، بينما البشر على الأرض يتناسلون ويكتشفون العلم. وفي الثلاثينيات من هذا القرن وصل البشر إلى تبين أن عمليات النشاط الإشعاعي تفرخ جسيمات نيوترينو، ولكن العلماء شكوا في أن أحدا سيمكنه قط أن يمسك بواحد من هذه الجسيمات، ذلك أن التفاعلات ما بين هذه الجسيمات والمادة هي تفاعلات ضعيفة جدا.

وفي غضون ذلك واصلت الموجة الآتية من النجم المتقلص طريقها في عناد لتقترب من الأرض من خلال السماوات الجنوبية. وعند زمن يزيد قليلا على 30 سنة ضوئية قبل الموجة تمكن عالمان أمريكيان لأول مرة من

أن يثبتا ببراعة أن جسيمات النيوترينو موجودة بأن أسرا بضعة منها كانت قد انبعثت من مفاعل نووي. حدث هذا عام 1956، ومن وقتها أصبحت دراسة جسيمات النيوترينو من الأمور العادية، إلا أننا حتى الآن لا نعرف بعد إذا كان لها وزن أم لا.

كانت موجة الانفجار على بعد ما يقرب من 15 سنة ضوئية عندما أخذ راي ديفيز في تشغيل كشافه للنيوترينو الشمسي في منجم داكوتا. ورغم أن الكشاف يعد مثاليا للإمساك بنسيم جسيمات النيوترينو الشمسية فإنه يكاد يكون أعمى بالنسبة لجسيمات النيوترينو الآتية من السوبرنوفا.

على أنه حدث منذ سنوات قليلة أن بدأ بعض الفيزيائيين في بناء جهاز تحت الأرض لم يكن له شأن بالسوبرنوفا ولا بجسيمات النيوترينو إلا أنه أصبح في النهاية مفيدا فائدة فائقة كتليسكوب للنيوترينو. كان هؤلاء الفيزيائيون يأملون في أن يجدوا دليلا على البروتونات المضمحلة-أي همسة الكون وهو يموت (هناك المزيد عن ذلك في الفصل الحادي عشر). ولالتقاط حدث نادر كهذا فإن من الضروري الاختباء بعيدا تحت الأرض حيث التربة من فوق الرؤوس تعمل كغطاء يحمي من قذائف الأشعة الكونية التي لا تنقطع، وحيث يستطيع النفاذ إلى قاع المناجم العميقة التي وضع فيها الجهاز إلا أقل القليل، ومع ذلك فإن جسيمات النيوترينو تستطيع النفاذ إذ هناك.

وهكذا شيد العلماء في هذه الكهوف حمامات سباحة ضخمة مملوءة بآلاف الأطنان من الماء. وإذا مر عدد كبير من جسيمات النيوترينو من خلالها ستكون هناك فرصة لأن يتفاعل جسيم أو جسيمان مع بعض الذرات في الماء فتكتشف بذلك عن وجودها. وفي 23 فبراير 1987 كانت جسيمات النيوترينو القادمة من النجم المتفجر قد سافرت 170 ألف سنة، ومرت من خلال الأرض وواصلت طريقها إلى الفضاء. وبينما كانت تفعل ذلك، فإن حفنة منها تم أسرها في خزانات المياه.

وقد شوهد هذا السوبرنوفا وهو يلمع بمثل ما تسطع به كل السحابة الماجلانية، وهو أول سوبرنوفا رئيسي منذ اختراع التليسكوب البصري. ولأول مرة في التاريخ يكتشف البشر انفجار نجم في جسيمات نيوترينو. وقد أثبت هذا أن علماء الفيزياء الفلكية كانوا مصيبين طوال الوقت فيما

يتعلق بطريقة تقلص النجوم، وهو ما يضيف إلى ثقتنا في أننا نفهم بتفصيل عظيم ما الذي يجري «هناك في الخارج».

لو أنك ذهبت إلى الصحراء القائظة في ذروة الظهر خلال الصيف فسوف تشعر بلهيب الشمس اللافح-وأنت على بعد 100 مليون ميل منها. وبعد ساعات قليلة ستعاني من لفحة شمس شديدة وتلك أول درجة من درجات التضرر من الإشعاع نتيجة للتعرض لانفجار نووي بعيد.

فلنتخيل الآن أن كل هذه القوة وقد تراكمت لدهور ثم تنطلق نحوك فجأة في لحظة. لو حدث شيء من هذا قريبا من الأرض، فسوف نفنى بالكامل.

ولقد كان ذلك السوبرنوفا قريبا بما يكفي لأن يصبح شيئا نفيسا بالنسبة للعلم، لكنه كان بعيدا أيضا بما يكفي بحيث لا يشكل خطرا يهددنا، وإن كنا لن نعرف قط أي مدنيات أخرى ربما تكون قد دمرت من خلال جيرته المباشرة منذ 170 ألف سنة مضت.

إننا نستطيع أن نظل باقين بعد سوبرنوفا البليون شمس إذا كان الانفجار بعيدا بما يزيد على 50 سنة ضوئية. وأقرب نجم للشمس يبعد بأربع سنوات ضوئية، وإن كانت النجوم تنفصل عن بعضها البعض في المتوسط بسنة ضوئية واحدة. ومما يجعلنا ممتنين أنه لا توجد نجوم كثيرة من حولنا داخل منطقة الخطر. إذ لا يوجد سوى نجم واحد أو نجمين على الأكثر من التي يحتمل أن تصبح سوبرنوفا في «المستقبل».

وتشير النظرية الحالية إلى أن انفجارات السوبرنوفا تحدث للنجوم التي يفوق حجمها كثيرا حجم الشمس. والنجوم التي سن هذا النوع تكون ساطعة، ولا يمكننا أن نخطئها. ويمكنك أن ترى واحدا منها في معظم الليالي الصافية أينما كنت تعيش. فعلى الكتف اليسرى لبرج الجوزاء يوجد نجم منكب الجوزاء الأحمر الساطع. وهو يلمع كياقوتة ويعد بأن يشكل مشهدا رائعا عندما ينفجر، وهو بعيد عناب 650 سنة ضوئية ولن يسبب لنا أي مشكلة.

ونحن لا نعرف إن كانت هناك مدنيات أخرى قد مرت بالسوبرنوفا، أو تتعرض الآن لخطر السوبرنوفا. أما نحن فإننا فيما يبدو آمنون، هذا إذا كان فهمنا لعمل النجوم صحيحا.

العدّ التنازلي

كان الانفجار الذي حدث يوم 23 فبراير 1987 قدرا محتوما، فهو تتابع للأحداث لا يمكن إيقافه وقد تمت برمجته منذ ملايين خلت من السنين. إن الهيدروجين هنا احترق إلى هليوم كما يحدث في شمسنا، ولكن لأن الكتلة هنا عشرة أمثال كتلة الشمس، لذا فإن قلب النجم زادت حرارته إلى 150 مليون درجة، وهي نقطة تتحد عندها نوى الهليوم بتكون كربون، ونيون وسيليكون. وتستطيع شمسنا أن تظل تحترق لخمسة بلايين سنة أخرى ولكن بداية تكون العناصر الثقيلة في النجوم ذات الكتلة الأكبر تعني أنه وصل إلى تلك المرحلة التي لا يكون باقيا على موته فيها أكثر من سنة.

وتصل حرارة المركز إلى درجة مذهلة هي بليونا درجة في الوقت الذي تنعصر فيه نويات السليكون معا مكونة الحديد، حتى تصبح الحرارة إلى ما يماثل حرارة ألف من شموسنا وقد تكثفت في نجم واحد.

ونواة الحديد هي أشد كل النوى الذرية إحكاما، ولا يمكن لنواة الحديد أن تندمج تلقائيا إلى عناصر أثقل لأن هذا سيستهلك طاقة بدلا من أن يطلق طاقة، وهكذا فإن حرارة الاندماج تنطفئ في المركز الحديدي عندئذ يكون قد تبقى للنجم ما يقل عن ثلاثة أيام. ولو كنا نستطيع أن ننظر داخل ذلك النجم البعيد عام 1987 لرأينا بداية تشكل المركز أو القلب الحديدي يوم 20 فبراير. وسرعان ما يستهلك اندماج السيليكون ذخيرة الوقود حتى يصبح للحديد كتلة تزيد 50 في المائة على كتلة الحديد في شمسنا. ويتشكل النجم مثل غلاف بصلة لها قلب مركزي كثيف من الحديد تحيط به طبقات محترقة من السليكون، والأكسجين، والنيون ثم الكربون، وأخيرا الهليوم والهيدروجين. ولا يعود النجم ينتج طاقة تكفي للإبقاء على وزنه الهائل فيبدأ في التقلص تحت تأثير جاذبيته، ولا يتبقى له إلا أقل من خمس ثانية يعيش فيها.

ويحدث الكثير في هذه اللحظة الوجيزة إذ يبدأ الانفجار الداخلي، فيتقلص القلب بسرعة تصل إلى ربع سرعة الضوء وينكمش من قطر هو نحو نصف الأرض ليصبح ستة أميال ليس غير. وتتحطم مادته مبعثرة إلى مكوناتها الأساسية-أي إلى بروتونات، ونيوترونات وإلكترونات-وتصبح أكثف من نواة الذرة العادية بثلاث إلى خمس مرات. وهي حالة غير مستقرة على

الإطلاق. وهكذا يرتد القلب الداخلي ليتمدد ثانية، فيزداد حجمه إلى مثلين أو ثلاثة أمثال، مرسلا بذلك موجة صدمية سرعتها تزيد على 10 آلاف ميل في الثاني تسري في الطبقات الخارجية التي مازالت تدفع للداخل. وموجة الصدمة هذه لها طاقة تزيد عما تطلقه مجرة بأسرها خلال عام كامل.

ويغير الانفجار بعض النوى التي في الأطراف الخارجية لتتحول إلى أشكال ثقيلة، تقفز فوق حاجز الحديد لتنتج عناصر ثقيلة مثل الرصاص واليورانيوم، وبعض الأنديوم أيضا. ويقذف الانفجار بها في أعماق الفضاء، ملوثا الكون بمزيج من عناصر لعلها ستكون بذورا لأشكال حياة المستقبل. فبذور ذراتنا قد تشكلت في انفجارات كهده منذ ما يزيد على5 بلايين سنة.

وقد حدث هذا كله فيما يقل عن ثانية واحدة. وفي الثواني الأربع التالية يطلق القلب الداخلي تفجرا من جسيمات النيوترينو-هي تلك التي تم الكشف عنها هنا يوم 23 فبراير 1987- إذ تتحول كل مادته النووية إلى نيوترونات، وهي في واقع الأمر نواة ذرية هائلة تحوي 5710 من النيوترونات.

وأثناء ذلك تواصل موجة الصدمة ترحالها إلى الخارج وتغادر الغلاف الخارجي بعد نحو ساعة. عندئذ تنطلق طاقة الصدمة، التي كانت متوارية قبل ذلك عن الأنظار بما يحيط بها في الخارج من مادة معتمة، في هيئة ضوء، يكون في البداية «فوق بنفسجي» ثم يصبح تلك الومضة الكاملة من الضوء المرئي التي أصبحت تاريخيا العلامة المشهورة لنجم السوبرنوفا.

وهذه الومضة قابلة للرؤية الآن في السماوات الجنوبية، وقد مثلت ذلك المشهد الذي كان أيان شلتون-وهو عالم فلك كندي كان يعمل في مرصد يرتفع عاليا في الأنديز-أول من صوره فوتوغرافيا، وبالتالي فقد نسب إليه الفضل في هذا الكشف. أما ما هو جديد هذه المرة فهو أننا نستطيع أن نرى بنوع آخر من العيون: فقد أسرت كشافات تحت الأرض بعض جسيمات النيوترينو الناجمة عن هذا التقلص.

ورغم أن علماء الفيزياء الفلكية يتفقون على هذا السيناريو العام عن التقلص، فمازال هناك جدل كثير حول الآلية التفصيلية لقذف المناطق الخارجية من النجم. وتحد هذه النقاط غير المحسومة نظريا من كم المعلومات التي يمكن أن نستنبطها عن جسيمات النيوترينو الآتية من

السوبرنوفا. لقد تدفقت هذه الجسيمات خلال الكشافات على مدى يقل عن 10 ثوان، وفي أول الأمر قال عديد من العلماء إن هذا يدل على أن النيوترينو له كتلة بالغة الصغر ولكنها ليست صفرا: فالانتشار في 15 ثوان بعد 170 ألف سنة من الترحال يحد من سرعة جسيمات النيوترينو النسبية وبالتالي يحد من كتلتها «إذا» افترضنا أنها تنبعث فوريا على المنظرين من العلماء أصبحوا أقل تأكدا الآن بهذا الشأن. فهذا الانتشار في عشر ثوان قد يكون ناجما عن «فترة استمرار» فعلية لعملية بث جسيمات، وفي هذه الحالة فإن كل جسيمات النيوترينو تصل هنا بسرعة الضوء، وهذا لا يكون ممكنا إلا إذا كانت هذه الجسيمات بلا كتلة. وعلى الطرف الآخر يمكننا تصور سيناريوهات هي مما يجوز وإن كانت تبدو غير محتملة، حيث تخرج أولا جسيمات نيوترينو بطيئة ثم تخرج الجسيمات السريعة فيما بعد، وبالتدريج تلحق الجسيمات السريعة بالبطيئة أثناء رحلة الـ 170 ألف عاما.

لقد كُتب عدد من الأبحاث حول الموضوع يفوق عدد ما وصلنا من جسيمات النيوترينو! والاختلاف الرئيسي فيما بينها هو في الفرضيات المتعلقة بتفاصيل إنتاج النيوترينو في السوبرنوفا. ويتمثل الاستنتاج الأكثر شيوعا في أن النيوترينو (من النوع الإلكتروني) له كتلة أقل من أقصى كتلة يمكن قياسها حاليا في التجارب المعملية (والتي تتضمن الاضمحلال الإشعاعي للتريتيوم والدراسة غير المباشرة للنيوترينو الذي ينبثق ضمنا في هذه العملية).

ومن ثم فإن السؤال الرئيسي الذي يظل موضع المناقشة هو: ما تفاصيل تقلص النجوم التي تنتج هذه الحشود من جسيمات النيوترينو.

عندما ينكمش نجم كهذا فإن ما يقرب من 10 بروتون موجب الشحنة تندمج مع الإلكترونات ذات الشحنة السالبة، محيدة شحنتها الكهربائية فتتكون نيوترونات، وهذه الأخيرة لها كتلة ثقيلة وتظل باقية لتكون نجم النيوترون وجسيمات النيوترينو التي تنطلق بعيدا. ويحدث هذا كله في أقل من مللي من الثانية (واحد على 1000 من الثانية)، أي يحدث في الواقع في التو. وذلك بكل تأكيد حدث درامي ومفاجئ، ولكن جسيمات النيوترينو هذه تحمل بعيدا أقل من 15 في المائة من الطاقة. ويأتي الباقي من عمليات تحدث في ظروف الحرارة العالية، مثل التقاء الإلكترونات مع نظائرها من

ضديد المادة ليصيبها الفناء، والضديد هنا هو «البوزيترونات» (وهي تماثل الإلكترونات في كل شيء سوى أن لها شحنة كهربائية موجبة بدلا من السالبة. وهذا الفناء ينتج عنه بث جسيمات نيوترينو وضديد جسيمات النيوترينو (ضديد المادة المناظر لجسيمات النيوترينو). ويقع أكثر من نصف بثات النيوترينو وضديد النيوترينو في أول ثانية ويخرج الباقي على مدى عشرات الثواني التالية إذ يبرد النجم النيوتروني الوليد ليصبح النجم النيوتروني البارد المألوف أو «النابض».

والكشافات التي على الأرض حساسة لوصول جسيمات «ضديد» النيوترينو، ولكنها تكاد تكون عمياء بالنسبة لجسيمات النيوترينو. وحيث إن انفجار الجزء من الألف من الثانية ينتج عنه فحسب جسيمات نيوترينو التي لا ترى على الأرض، لذا فنحن نمسك فحسب جسيمات ضديد النيوترينو التي تنبثق أثناء «العشرات» التالية من الثواني. وهنا يكمن السبب، جزئيا، في صعوبة معرفة الكثير عن كتل (ضديد) النيوترينو من المدى الزمني لأوقات وصولها-فهذا المدى الزمني يمكن أن يخبرنا عن الأوقات النسبية لإنتاجها أكثر مما يخبرنا عن انطلاقها.

وهناك أيضا بعض الألغاز، لم تحل بالكامل حتى الآن، تتعلق بواقعة أن كشافا صغيرا (من 90 طنا فقط) تحت جبل مونت بلانك قد استجاب للانفجار على نحو يختلف عن استجابة كشافين أكبر من 1000 طن في اليابان والولايات المتحدة. وقد صمم كشاف مونت بلانك للكشف عن جسيمات ضديد النيوترينو الناجمة عن التقلصات في مجرتنا، وليس تلك القادمة من المصادر الأكثر بعدا مثل السحابة الماجلانية الكبيرة. أما الكشافان الأضخم في اليابان والولايات المتحدة فقد صمما لفيزياء مختلفة تماما، إذ صمما للبحث عن علامات لاضمحلال البروتونات، لكن ملاءمتهما لفلكيات النيوترينو القادم من خارج مجرتنا ترتبت عليه في النهاية فوائد أتت بالمصادفة. إن هذا الاكتشاف يثبت أن نظرياتنا عن النجوم نظريات صائبة-فالنجوم يمكن أن تتقلص وهي بالفعل تتقلص وتتحول إلى نجوم نيوترون. وفيما مضى كان هذا مجرد تخمين تشير إليه قرائن، ولكن أسر جسيمات النيوترينو المنبعثة من الانفجار كان شاهدا على أننا أمسكنا بتلابيب الطبيعة وهي تفعل فعلتها.

وثمة الكثير مما يثير بصدد الاحتمالات المستقبلية لفلكيات النيوترينو، فالسوبرنوفا الذي نتحدث عنه وقع في مجرة أخرى، أبعد على الأقل بست مرات عن أي جرم في مجرتنا، ومن ثم فلو حدث سوبرنوفا في مجرتنا نحن فسنتمكن في المستقبل من أن نكشف بسهولة عن موجة تفجر النيوترينو.

والواقع أن السوبرنوفات ليست جد نادرة. فعلماء الفلك يكتشفونها بانتظام في المجرات البعيدة. وفي مجرتنا يحدث سوبرنوفا في المتوسط مرة كل 20 سنة أو ما يقرب من ذلك. والمجرة حيز هائل الاتساع، ونحن مرغمون على أن ننظر عبره، بدلا من أن ننظر لداخله من الخارج حيث يكون المشهد أوضح. والاحتمال الغالب هو أن يكون السوبرنوفا محجوبا عن النظر بسبب الغبار والنجوم الأخرى، أو أن يكون أبعد من أن يرى بالعين المجردة. ولا يحدث سوبرنوفا وهو مرئي بالكامل إلا من آن إلى آخر فحسب. ويبدو الأمر كما لو أننا وسط حقل ألغام كوني حيث تنطلق الانفجارات من حولنا في كل مكان، ولكنها مشكورة، ليست جد قريبة منا حتى الآن.

ويبين شكل (9-1) مواقع تلك السوبرنوفات، التي أمكن رؤيتها في مجرتنا في الألف سنة الأخيرة، وقد مر زمن طويل منذ وقع آخر سوبرنوفا مرئي. على أن المجرة شبه شفافة لجسيمات النيوترينو، وهكذا فإن تفجرات النيوترينو من السوبرنوفات «المحلية» ينبغي أن تصل إلينا حتى إذا لم يصلنا منها أي ضوء. وسيمكننا الآن أن نرى جسيمات النيوترينو هذه- ورصد جسيمات النيوترينو الآتية من السحابة الماجلانية الكبيرة يثبت أنه يمكننا أن نفعل ذلك. وكل ما علينا هو أن ننتظر، ولما كان مصدر أي إشارة من مجرتنا سيكون أقرب كثيرا من السحابة الماجلانية الكبيرة، فلا نجد أن تكون أكبر كثيرا. والمغزى المتضمن في ذلك هو أنه إذا تقلص نجم في «أي مكان» في مجرتنا فإننا، وبصرف النظر عن رؤية ضياء السوبرنوفا، نستطيع أن نرصده بوساطة جسيماته من النيوترينو.

ونحن نتوقع ثلاثة أو أربعة أحداث من هذا النوع خلال مدى حياة الفرد العادي. ومع شيء من الحظ سيكون لدينا أول سوبرنوفا مع نهاية القرن وعندها سوف نتعلم بالتفصيل ماذا يحدث عندما تتقلص النجوم. وفي نشأة السوبرنوفا الجديد باهتمام.



شكل (9- 1) السوبرنوفات في درب التبانة. موقع السوبرنوفات في مجرتنا بالنسبة للشمس، والأذرع اللولبية ومركز المجرة. ومن الجائز أنه قد حدث ما هو كثيراً من هذه، ولكنها كانت محجوبة عن الرؤية.

وفضلا عن ذلك فسيمكننا الآن أن نرى ما إذا كانت نظريتنا عن نجوم النيوترون صحيحه. إذ إنه عندما تندفع موجة الصدمة خارجة إلى الفضاء فإن النجم يصبح رقيقا ويكشف عن نجم النيوترون الذي نعتقد أنه قد تشكل في

المركز. ومن الجائز عندما يتركز قدر كاف من المادة هناك فإن النجم يتقلص لأبعد من ذلك ليصبح ثقبا أسود. وسوف نعرف الإجابة خلال سنوات معدودة، وكل ما علينا أن نفعله هو أن نتذرع بالصبر.

هل قتل السوبرنوفا الديناصورات؟

في حدود المعرفة المتوافرة حاليا لا يبدو أن هناك أية نجوم مرشحة لانفجارات سوبرنوفا في المستقبل من بين جيراننا المباشرين، وربما يرجع السبب في ذلك إلى أن كل المرشحين الملائمين قد انفجروا من قبل. وثمة بعض الدلائل على أن وقوع سوبرنوفا منذ خمسة بلايين سنة خلت قد أدى إلى تشكيل المنظومة الشمسية. فهل أدى انفجار أحدث عهدا إلى قتل الديناصورات؟

نحن نعرف كيف يتم «طبخ» العناصر في النجوم، وبالتالي يمكننا أن

نحسب كمية الإيريديوم التي يقذف بها في الانفجار المتوسط للسوبرنوفا. وفي الفصل الخامس عرفنا كيف قام لويز ألفاريز بقياس كمية الإيريديوم في الطبقة الإيطالية الفاصلة بين الطبقات الجيولوجية للعصر الطباشيري والعصر الثلاثي. ومن هذا يمكن للمرء أن يستنبط الكمية التي تم ترسيبها في العالم بأسره. وهي بالغة الضخامة بحيث إنها لو كانت قد أتت من سوبرنوفا بعيد فلا بد أن هذا النجم كان قريبا جدا. ببعد يبلغ حده الأقصى سنة ضوئية (أقرب نجم معروف من أي نوع في الوقت الحاضر يبعد عنا 4 سنوات ضوئية).

واحتمال أن يحدث انفجار سوبرنوفا على هذه الدرجة من القرب حتى خلال 100 مليون سنة هو احتمال لا يتجاوز واحدا من بليون. وباحتمال ضئيل هكذا فإن وقوع سوبرنوفا قريب يصبح حدثا مستبعدا. وهو إما قد وقع أو لم يقع. وهناك اختبارات تجريبية يمكن القيام بها وتثبت أن هذا الحدث لم يقع.

والحيلة المستخدمة هنا هي أن نستفيد من حقيقة أن الذرات في عنصر معين ليست كلها متشابهة. فالذرات وإن كانت متعادلة كهربائيا إلا أنها تحوي كهرباء داخلها. فالإلكترونات ذات الشحنة السالبة تدور من حول نواة مدموجة ذات شحنة موجبة وتحوي بروتونات موجبة الشحنة. والبروتون الواحد فيه كمية من الشحنة الموجبة تماثل كمية الشحنة السالبة الموجودة في إلكترون واحد. وهكذا فإن الذرات المتعادلة تحوي عددا من الإلكترونات يماثل عدد البروتونات، وهذا العدد هو ما يحدد الخواص الكيميائية ويحدد هوية العنصر. وهكذا فإن الهيدروجين، وهو أبسط العناصر، يحوي إلكترونا واحدا وبروتونا واحدا. ويحتوي الهليوم، وهو ثاني أبسط عنصر، على إلكترونين، بينما يحتوي اليورانيوم على 92 إلكترونا.

والنواة التي تحتوي على عدد كبير من البروتونات موجبة الشحنة هي نواة غير مستقرة إلى حد كبير: «فالشحنات المتماثلة تتنافر». والنوى تظل باقية بسبب وجود عامل استقرار، هو الجسيمات المتعادلة كهربائيا المسماة بالنيوترونات. فالنوى الذرية تحوي بروتونات ونيوترونات. وإضافة النيوترونات إلى النواة تغير كتلتها ولكنها لا تغير هويتها الكيميائية. فعلى سبيل المثال: يو-235، ويو-238 هما «نظيران» من اليورانيوم، وكل منهما

يحوي 92 بروتونا-وهو ما يحدد هوية اليورانيوم-ولكن كلا منهما له عدد مختلف من النيوترونات داخل نواته. ف «نيو-235» يحوي 143 نيوترونا (بما يجعل إجمالي عدد النيوترونات والبروتونات 235)، بينما يو-238 يحوي 146 نيوترونا، وبالتالي يكون إجمالي عدد النيوترونات والبروتونات هو 238.

وعندما تطبخ العناصر في النجوم يتم دمج النيوترونات والبروتونات معا لتشكل البذور النووية للذرات. وينتج النجم الواحد نظائر عديدة مختلفة لأي عنصر بعينه، ويختلف الخليط الفعلي حسب الظروف داخل النجم. ونجوم النيوترون، كما يبين اسمها، توفر قدرا وافرا من النيوترونات وتشكل بسهولة نظائر عناصر ثقيلة غنية بالنيوترونات. ومن الناحية الأخرى فإن النجوم التي بلغت درجة كبيرة من التطور تنزع إلى أن توفر عددا أقل من النيوترونات وبالتالي فإن خليط النظائر يكون مختلفا. ويمكن لعلماء الفيزياء الفلكية أن يتنبأوا بنوع العناصر التي ستتوافر، ونوع خليط النظائر الذي ينتج عن الأنواع المختلفة من النجوم، وخاصة في السوبرنوفا.

إن انفجار السوبرنوفا يطلق الإيريديوم والبلوتونيوم أيضا. وهناك قدر وافر من الإيريديوم في طبقات الطفل الفاصلة، كما وجد ألفاريز، ولكن لا أثر هناك للبلوتونيوم على الإطلاق. وتلك كانت أول إشارة إلى أن السوبرنوفا ليس هو السبب.

وللإيريديوم نظيران مستقران، هما إيريديوم 191 وإيريديوم 193. والسوبرنوفات المختلفة تنتج هذين النظيرين بكميات تختلف نسبيا. وقد تشكلت المنظومة الشمسية من سحابة غاز أولية كانت تستمد وقودها من انفجارات سوبرنوفا لا عدد لها وانتهى الخليط النهائي إلى وجود كمية من النظير 193 توازي تقريبا مثلين لكمية النظير 191.

وقد اكتشف ألفاريز أن كمية الإيريديوم تزيد زيادة عظيمة عند مقارنة الطبقة الفاصلة بطبقات الصخور الأخرى (الفصل الخامس). إلا أن النسبة بين النظيرين هي نفسها في الاثنين. والسوبرنوفا الحديث يمكن أن يقذف بنظيري الإيريديوم حسب النسبة الخاصة به هو نفسه، والتي يستبعد تماما احتمال تطابقها مع النسبة الخاصة التي تحتوي عليها المنظومة الشمسية. فالخلطة بنسبة اثنين إلى واحد هي بمنزلة البصمة الخاصة للمادة التي من المنظومة الشمسية.

ومن ثم فرغم أنه مازال الجدل قائما حول ما إذا كان سبب الكارثة أرضيا أو من خارج الأرض فإن هناك بعض أشياء يمكننا أن نكون واثقين منها. فالكارثة لم تنجم عن الاصطدام بأحد النجوم القريبة أثناء مرورنا خلال أذرع المجرة اللولبية، كما أنها لم تنجم عن سوبرنوفا.

10 كون من المجرات

ما المسافة إلى منكب الجوزاء؟

فوق كتلة صغيرة من الصخر(*) تدور حول نجم غير مهم، حدثت تجمعات من الجزيئات التي انتظمت بطريقة عضوية بحيث أصبحت أفرادا أو كيانات ذات وعي. وعى هؤلاء الأفراد الفجوة الرهيبة التي تفصلهم عن أقرب نجم، وعن الكوكبات، والمجرات البعيدة. وهم إذ يمعنون النظر من تحت غطاء من الهواء فإنهم يتمكنون من قياس مسافة بعد هؤلاء الرفاق الشركاء في الملهاة النهائية. والواقع أن تمكن البشر من تحديد مكونات هذه الأضواء البعيدة يعد واحدا من أعظم إنجازات الحضارة البشرية.

لقد عرف قدماء الإغريق درب التبانة، ولكنهم لم يعرفوا مم يتكون. ولم يتكشف ذلك إلا في القرن السابع عشر عندما حول جاليليو تليسكوبه نحو درب التبانة، الذي كشف عن نفسه كملايين من النجوم والبقع المضيئة أو «السدم». وتبدو السدم عند النظرة الأولى مشابهة للمذنبات، وبلغت هذه المشابهة حدا ظن أناس كثيرون معه أنهم رأوا مذنب هالي عام 1986، على حين أنهم كانوا يحدقون في

(*) يقصد المؤلف كوكب الأرض.

الحقيقة في سدم مجاورة. وفي عام 1771 وضع شارل ميسييه قائمة بما يزيد على 100 سديم وذلك حتى لا يتشوش بها صائدو المذنبات. وقد سميت تلك السدم على اسمه، بقائمة من حروف م: M (أي اختصار ميسييه)، ورصت الحروف في كتالوجه مقرونة برقم م 1 (سديم السرطان)، م2، م3، وهكذا دواليك مثل تسمية الطرق الرئيسية في بريطانيا(*1).

ولكن ما السُدُم؟

كان معظم الناس في ذلك الوقت يعتقدون أن السدم عبارة عن غاز وغبار في جيرتنا. إلا أن الفيلسوف إيمانويل كانط فكر في الأمر تفكيرا مختلفا. فقد افترض أن بعض السدم موجودة في درب التبانة، ولكن هناك سدما أخرى، مثل السدم الجميلة اللولبية، هي تجمعات بعيدة من نجوم تماثل نجومنا نحن. ولم يهتم أحد كثيرا بذلك كما لم تكن هناك وسيلة وقتها لاختبار فكرة كانط هذه. وقد تأتى أول مفتاح للكشف عن الكون مع اختراع منظار الطيف. وهو منظار يقسم الضوء إلى ألوان، مثله مثل المنشور، ولكن بدقة بالغة بحيث إن طيف الشمس مثلا يرى وقد تشابكت معه مئات من الخطوط السوداء. وكان العلماء قد اكتشفوا في معاملهم أن كل عنصر عند تسخينه يترك وراءه أثرا من الضوء، يحلله منظار الطيف مثلما يقرأ المحقق بصمة الإصبع. وبمقارنة الطيف الناتج في المعمل مع ذلك الآتي من الشمس تكشف أن الشمس تشتمل على هيدروجين، وحديد، وصوديوم، وعناصر أخرى. وفجأة أصبح حلم العصور حقيقة: إننا نستطيع أن نعرف مم تتكون النجوم؟

كان وليم هجنز كيماويا ثريا من لندن، كما كان عالم فلك مدققا، وقد حلل ضوء نجوم كثيرة في منتصف القرن التاسع عشر ثم أخذ يعمل على السدم. فوجد أن هناك نوعين: فبعضها كان من الغاز ولكن البعض الآخر كان له أطياف مثل الشمس، مما يوحي بأنها تتكون من نجوم.

وكانت المشكلة هي ما إذا كانت السدم داخلة في مجرتنا أم هي خارجها. إذ لم يكن لدى الفلكيين في القرن التاسع عشر فكرة واضحة عن مدى بعد النجوم.

(*1) حيث يسمى الطريق أو Motor Way بحرف M مقرونا برقم مميز M2,M1 M3, وهكذا.

إننا نعرف مدى بعد الشمس عنا (الفصل الثالث)، إذ إن شعاع الضوء يقطع هذه المسافه فيما لا يزيد إلا قليلا على 8 دقائق.

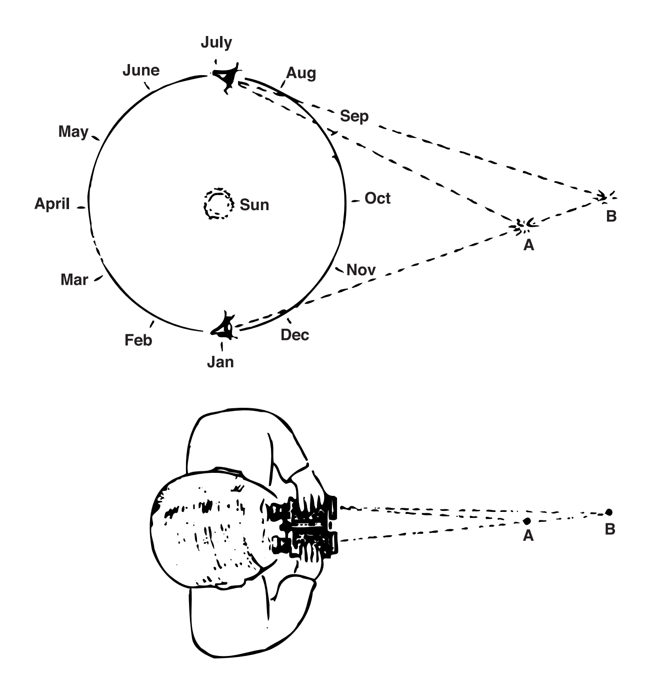
وهذا البعد المتوسط عن الشمس يسمى «وحدة فلكية»، وهو الأساس المستخدم لقياس المسافة إلى النجوم المجاورة. وبعد ستة شهور تصبح الأرض على الجانب المضاد من الشمس، وتكون عندها على بعد «وحدتين» فلكيتين من موضعها الحالي.

ولا بد أن يختلف المنظر الذي تتراءى لك به النجوم الآن عن منظرها بعد ستة شهور اختلافا هينا. وكما أن تضافر العين اليسرى واليمنى يعطينا رؤية ازدواجية وإحساسا بالمسافة، فإن فترة الشهور الستة تعطينا مشهدا للنجوم بالعين «اليسرى» وآخر بالعين «اليمنى». وستظهر النجوم القريبة مزاحة عن موضعها بسبب تغير ظاهري في موقعها بالنسبة للنجوم الأكثر بعدا. وإذا عرفنا مدى بعد وحدة القياس الأساسية ما بين يناير ويوليو سيمكننا تحديد مدى بعد النجم من خلال حركته الهينة إزاء الخلفية (انظر شكل 10-1).

وأقرب جيراننا من النجوم هو القنطورس الأدنى وجاره الأكثر نصاعة قنطورس ألفا، وهما يريان في نصف الكرة الجنوبي. ومقدار اختلاف الموقع الظاهري يبين أن قنطورس ألفا هو أبعد من الشمس بمقدار275 ألف مرة. وهذه مسافة تقطعها طائرة الكونكورد في «مليوني» سنة، على حين أن الضوء يقطعها في 4,5 سنة. ولو عبرنا عن هذه المسافة بالأميال لكان تعبيرنا غير مفهوم، وهكذا فإننا بدلا من ذلك نقول إن المسافة هي 4,5 سنة ضوئية.

على أننا لا نريد أن نعرف أين تكون النجوم «الآن» فحسب، وإنما أيضا إلى أين تتحرك، ذلك أن الأمور لا تبقى دائما على ما نجدها عليه اليوم. وحركة النجوم يمكن تقسيمها إلى مكونين اثنين-«حركة شعاعية» Radial على طول خط الإبصار و«حركة فعلية» Proper في زاوية قائمة على خط الإبصار.

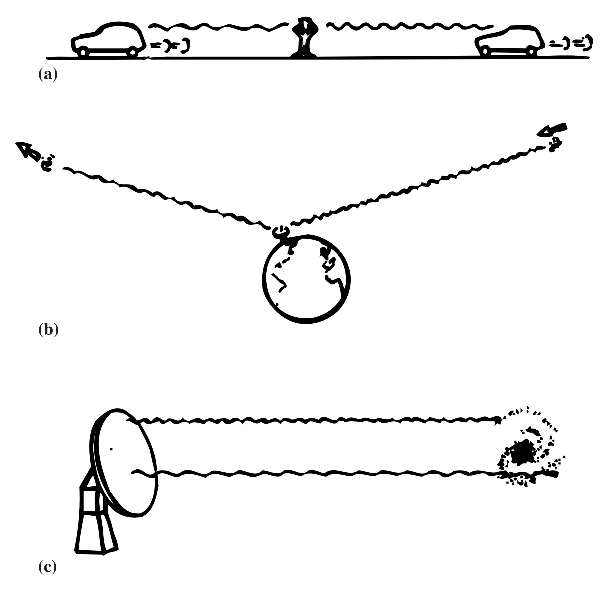
والسرعة الشعاعية يمكن إيجادها بقياس طيف الضوء الآتي من النجم، واستنتاج العناصر التي تعطي الألوان المتميزة ثم مقارنتها بالأطياف التي تعطيها هذه العناصر على الأرض. وطول موجة ضوء الطيف تحدث له



شكل (10-1) الرؤية بالعينين واختلاف الموقع الظاهري. العين اليمنى للإنسان ترى الجرم أ أو الجرو ب في خط واحد بينما تراهما العين اليسرى منفصلين، واختلاف الموقع الظاهري هذا يمكننا من أن نستنتج أن الجرم ب هو أبعد. والأرض تدور حول الشمس، وفي يناير يكون النجمان (أ) و (ب) على خط واحد (العين اليمنى)، وفي يوليو يكون لدينا مشهد «العين اليسرى» ويمكننا أن نعرف أن النجم (ب) أبعد من النجم (أ).

إزاحة دوبلر بطريقة مماثلة للإزاحة المألوفة في طبقة صوت بوق سيارة، إذ يتزايد عويله وهو آت نحونا وينخفض إذ يرحل عنا: وطيف الضوء ينزاح إلى الأحمر إذا كان آتيا من نجم مبتعد وتجاه الأزرق إذا كان آتيا من نجم مقترب (انظر شكل 10- 2). والسرعات الشعاعية يمكن قياسها بدقة بالنسبة للنجوم والمجرات بأكملها حتى أقصى أطراف الكون.

أما قياس الحركة الفعلية فإنه يتطلب رصدا حريصا طيلة عقود من السنين، مع مقارنة صور النجم منسوبة إلى أعماق الخلفية. وهذه ظاهرة جد دقيقة بحيث إن أقرب النجوم هي وحدها التي تبدي حركة فعلية يمكن الكشف عنها. أما النجوم التي تبعد أكثر من 20 أو 30 سنة ضوئية فهي أبعد



شكل (10- 2) إزاحة دوبلر.

(أ) عربة ذات بوق تندفع نحو السامع أو بعيد عنه فيبدو أن صوتها له طبقة أعلى أو أقل حسب الترتيب.

(ب) تحدث إزاحة مماثلة في لون الضوء. فالمجرة التي إلى اليمين تدنو مقتربة وتنضغط موجات ضوئها-أي تنزاح إلى الأزرق. والمجرة التي إلى اليسار تبتعد. فيمط ضوؤها إلى الأحمر.

(جـ) يستطيع التليسكوب أن يكشف حتى عن دوران إحدى المجرات وذلك من اختلاف الإزاحات الحمراء أو الزرقاء بطيف الضوء الآتي من النجوم التي في الأجزاء المختلفة من اللولب.

من أن تظهر لها أي حركة إزاء الخلفية أو أي تغير ظاهري في الموقع أثناء دوران الأرض حول الشمس، فالبعد الثالث يضيع هنا. وقد يكون أحد النجوم الساطعة هو أو سديم المرأة المسلسلة على بعد مليون سنة ضوئية، ومع ذلك يكون بطبيعته متألقا إلى حد يغشى معه البصر، أو يكون على بعد 100 سنة فحسب، ولكنه شاحب نسبيا.

وهكذا فإن الفلكيين عند نهاية القرن التاسع عشر كانوا ينفقون وقتهم في جمع النجوم مثل طوابع البريد، ويسجلون لها الأطياف والألوان. وفي هارفارد كانت هنرييتا ليفيت تجمع المعلومات عن النجوم المتغيرة، تلك التي

تعتم ثم تلمع بانتظام. وبعض هذه النجوم جد ملحوظة وهي تستكمل دورتها في ساعات أو أيام أو أسابيع معدودة. وأول ما عثر عليه منها كان في كوكبة (برج) قيفاوس، وهكذا عرفت في مجموعها بالمتغيرات القيفية رغم أن هذه النجوم المتغيرة تقع عبر السماء كلها.

واكتشفت ليفيت أنه كلما كان النجم القيفي «أسطع» زاد «طول» المدة التي يستكمل فيها دورته. وقد اكتشفت ذلك لأنه تصادف أن الكثير من النجوم القيفية التي كانت تنظر إليها كانت في السحب الماجلانية-أي في هاتين المجرتين التابعتين لمجرتنا درب التبانة. وهذه السحب تبعد بمسافة 150 ألف سنة ضوئية، وهكذا فإن كل قيفياتها لبتعد عنا بمسافة متساوية، بإضافة أو طرح نسبة مئوية قليلة. وها هنا يزول تماما اختلاف درجة السطوع الذي يسببه اختلاف المسافة والذي يثير البلبلة (فهو طاعون النجوم في مجرتنا). وهكذا أمكن لليفيت أن تبين أن الوقت الذي يقضيه النجم القيفي ليستكمل دورته يخبرنا بمدى سطوعه الطبيعي. وبمقارنة ذلك بسطوعه الظاهري يمكن الكشف عن مسافة بعده الحقيقية.

وقد قاس علماء الفلك انحراف الشمس بين زملائها من النجوم وأمكنهم تقدير المسافة إلى القيفيات المجاورة. وأعطانا ذلك مقياسا مطلقا للمسافة وأمكن أخيرا إضافة البعد الثالث. ففي المسافات القصيرة يكون تغير الموقع الظاهري هو الحل، أما في المسافات الأبعد فإن القيفيات هي التي تمدنا بعصا القياس.

ولنرجع الآن إلى العقد الأول من هذا القرن ونلتقي بهارلو شابلي في مرصد مونت ويلسون بكاليفورنيا، وكان المرصد وقتها أكبر تليسكوب في العالم وله مرآة قطرها 60 بوصة. وكان شابلي ينظر إلى المتغيرات القيفية التي يشيع وجودها نوعا في تجمعات كروية-عنقودية تبلغ ما يصل إلى 100 ألف نجم ذات جمال مذهل. وأخذ شابلي ينسق المعلومات عن القيفيات الموجودة فيها ثم أخذ يرسم خريطة ذات أبعاد ثلاثة للتجمعات الكروية التي في المجرة.

إن بإمكاننا من الأرض أن نرى ما يزيد على 100 تجمع كروي. وقد أمكن لشابلي أن يحدد القيفيات في اثنتي عشرة مجموعة من المجموعات الأقرب وأن يقيس مسافة بعدها. وأمكنه في بعض هذه التجمعات القريبة أن يعزل

نجوما حمراء ناصعة من العمالقة والعمالقة الأعلى، وقام بإجراء مقارنة منهجية بين سطوعها الظاهري والسطوع الظاهري للقيفيات. وسرعان ما جمع من المعلومات ما يكفي، لأن يصل إلى معرفة شيء عن السطوع الطبيعي أو «الحجم المطلق» لهذه النجوم العملاقة.

وفي التجمعات الكروية البعيدة تكون النجوم العملاقة الساطعة هي تقريبا كل ما يمكن أن تراه، أما القيفيات فهي من الشحوب بحيث تتعذر دراستها. ولكن مع وجود هذه العمالقة التي هي بمنزلة «شموع معيارية»، أو مقياس مرجعي لدرجة السطوع، فإن شابلي أخذ يضع خريطة لإبعاد التجمعات الكروية الواقعة في أعماق المجرة.

وبحلول 1920 كان قد أصبح لديه خريطة ثلاثية الأبعاد للتجمعات الكروية. وقد أذهله ما بينته هذه الخريطة.

فالتجمعات الكروية لا تنتشر انتشارا عشوائيا حول درب التبانة. وإنما تتمركز في كرة ضخمة وكأنها عناصر لتكوين «الكرة العليا» Super globular. ويبعد مركز هذه الكرة عنا بـ30 ألف سنة ضوئية في اتجاه برج «القوس والرامي». وخمن شابلي تخمينا ملهما: فمركز هذه الكرة العليا هو مركز منظومة نجومنا درب التبانة. وكان بطليموس قد جعل من الأرض مركز الكرة السماوية، وفي عام 1543 أسقط نيكولاس كوبرنيكوس هذه الفكرة، وقال إن الأرض تدور حول شمس مركزية. ثم جاء شابلي ليطرح أن الشمس ليست في مركز المجرة وإنما توجد بدلا من ذلك بعيدا في الأطراف القصية. وما إن تم طرح تلك الفرضية حتى دخل الأمر حيز الوضوح. فلنقارن منظر درب التبانة عند رؤيته من السماء الشمالية ثم من السماء الجنوبية. إنه يبدو شاحبا نسبيا عندما تنظر إليه في أمريكا الشمالية وأوروبا، أما في أمريكا الجنوبية واستراليا فنحن نرى سطوعا قويا، إذ ننظر من خلال 90 في المائة من القرص وإلى القلب تجاه «القوس والرامي».

وكان من بين الأمور التي أغفلها شابلي تأثير الإعتام الناجم عن الغبار والواقع ما بين النجوم. فقد ظن أن وجود إعتام يرجع إلى بعد المسافة وقدر أن المجرة يبلغ امتدادها 200 ألف سنة ضوئية. والحقيقة أنها أصغر من ذلك فهي أقرب إلى 100 ألف سنة ضوئية، أما الإعتام فيرجع إلى الضباب. ولعل هذا التقدير المبالغ فيه هو الذي أدى إلى فشله في اكتشاف أن

مجرتنا إنما هي عضو واحد في عائلة من المجرات. والسحب الماجلانية هما مجرتان تابعتان لدرب التبانة تبعدان 150 ألف سنة ضوئية؛ أي بما يزيد على 50 في المائة من امتداد المجرة الأم. ومبالغة شابلي في تقدير حجم درب التبانة تجعل السحب الماجلانية داخل درب التبانة بدلا من أن تكون كيانات منفصلة.

وقد جاء اكتشاف «كون المجرات الكثيرة» على يد إدوين هابل أثناء عمله في العشرينيات من هذا القرن في مونت ويلسون مستخدما التليسكوب الجديد الذي يبلغ قطره 100 بوصة. وأمكنه باستخدامه أن يتبين أن السدم اللولبية تتكون من نجوم كما في سديم المرأة المسلسلة. وتوافر الدليل على أنها مجرات عندما أمكنه أن يصور ضوئيا 50 نجما قيفيا متغيرا في إحدى المجرات المرئية في السماوات الجنوبية واستنتج أنها تبعد بعدة مئات الآلاف من السنين الضوئية. وتلك مسافة هائلة البعد-أبعد عدة مرات من طول رحلة كاملة عبر مجرتنا بأسرها-حتى أن هابل أصابه الارتياح عندما اكتشف أن القوانين الفيزيائية نفسها مازالت صالحة للعمل في أعماق الكون. وقد مكنه ذلك من مواصلة استكشاف أعماق أبعد.

وأكبر سديمين لولبيين يمكن رؤيتهما من الأرض هما «المرأة المسلسلة»، و«م 33» ويتجه «م 33» بوجهه إلينا وقد أمكن لهابل تصويره ضوئيا على مدى سنتين مستخدما التليسكوب ذا المائة بوصة. ثم حلله إلى النجوم المكونة له وأمكن له تحديد 35 نجما قيفيا متغيرا. وكتب هابل تقريره عام 1926: «السديم م33 يبعد عنا بمسافة مقدارها 2,4 مليون سنة ضوئية»، وهي مسافة أبعد كثيرا من أي شيء سبق معرفته. وليس هناك أدنى شك في أن هذا السديم مجرة لولبية منفصلة عن مجرتنا وفي عيد الميلاد عام 1928 نشر هابل بحثا عما تم له اكتشافه بشأن «المرأة المسلسلة». لقد تم اجتياز حاجز المليون من السنين الضوئية. وهكذا ولأول مرة فيما يتذكره المسنون من العلماء الأحياء حتى الآن أمكن للحضارة البشرية أن تحدد موقعها داخل الكون، فالكون ينقسم إلى مجرات تنفصل عن بعضها البعض بمسافات شاسعة تخلو من النجوم.

ولقد استغرق الأمر زمنا طويلا للانتقال من نظرية أن الأرض مركز الكون حتى وصلنا إلى أننا ندور حول الشمس في ركن بعيد من المجرة.

والآن ها هي لم تعد بعد «الـ» مجرة، وإنما هي «إحدى» المجرات؟ مجرة من بليون نجم هي واحدة من بليون مجرة.

وما أن تبين هابل أن الكون مبني من جزر من المجرات في بحر الفضاء الهائل، حتى اكتشف بسرعة أن الكون يتمدد، ويتطور بالزمان، وأن المجرات تندفع مبتعدة إحداها عن الأخرى. وتلك رؤية نافذة تنطوي على دلالة كونية حقيقية لأنها تعلمنا الكثير عن ظروف نشأة الكون. فإذا كان الكون يتمدد فإن لنا أن نتصور أننا نوقف الساعة وندير الشريط السينمائي في اتجاه عكسي. ولا بد أن كل الأشياء في الماضي كانت أقرب بعضها إلى بعض مما هي الآن. فمنذ ما يقرب من 10- 20 بليون سنة كانت مادة لكون كلها ولا بد محشورة في حيز أصغر من قبضة اليد. وانفجار هذه الكرة الكثيفة للخارج هو ما يسمى بـ«الانفجار الكبير». فنشأة الكون حدثت في انفجار وقع منذ 20 بليون سنة خلت، وظل الكون يتمدد من وقتها. ولم يكن أي شيء من هذا معروفا، ثم عرفه هابل وأصبح يشكل الآن جزءا من المعرفة البشرية.

لقد وقع هابل على ذلك مصادفة. إذ كان يسعى في أول الأمر إلى أن يعرف مدى سرعة حركة الشمس حول المجرة. وأنه عندما تركب أرجوحة دوارة فإن بإمكانك أن تعرف سرعة حركته بتثبيت نظرك على نقط مرجعية بعيدة. وإذا استخدمت المجرات البعيدة كمراجع ثابتة فسترى إذا كانت الشمس تتحرك نحوها أو بعيدا عنها أو عبرها، ثم تستطيع أن تحسب بعد ذلك حركة الأرجوحة الدوارة.

وقد أظهر القليل من المجرات المجاورة ما كان متوقعا من تحرك عشوائي. أما ما هو أكثر إثارة فهو وجود نزعة ملحوظة عند المجرات البعيدة لأن تندفع مبتعدة، ويكون اندفاعها أسرع كلما زاد بعدها عنا. وقد حسب هابل سرعتها بأن حلل ضوءها باستخدام منظار الطيف ورأى مدى ما فيه من إزاحة تقارن بقائمة الألوان-البصمات التي كانت وقتها قد أصبحت معروفة جيدا.

وقام هابل برسم خريطة لتجمعات المجرات في أعماق الفضاء وبحلول عام 1934 أمكنه بوساطة تحسين وسائل الصور الضوئية أن يلتقط صورا لمجرات تشبه النقط، هي أكثر عددا من النجوم التي في أمامية اللوحة.

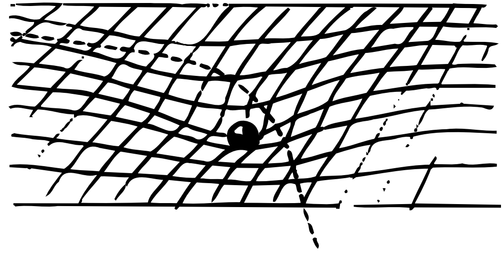
وعثر هابل على مجرات بعيدة تندفع مبتعدة بسرعة تبالغ سبع سرعة الضوء. والرقم القياسي الحالي يتعلق بمجرات جد بعيدة حتى أن ضوءها قد ظل يرتحل عبر الفضاء طيلة 15 بلايين سنة حتى تصادف لبعض منه أن تم تلقيه على تليسكوب موجود فوق كوكب غير ذي أهمية. ونحن عندما ننظر إلى صورة كهذه فإنما ننظر إلى الوراء في اتجاه بدء الكون.

والسؤال الذي ينشأ عن هذا ما إذا كان الكون سيستمر في تمدده، أو أنه في النهاية سوف يتقلص بفعل وزنه هو نفسه. وهذا السؤال يلح حاليا على علماء الفلك كما يلح أيضا على علماء فيزياء الجسيمات الذين يعيدون إنشاء الظروف العنيفة للكون المبكر في معاملهم الأرضية.

نهاية الكون كما نعرفه

ارتكب أينشتين خطأ فادحا عند صياغته لنظريته النسبية العامة، وهي نظرية الجاذبية التي نسخت عمل إسحق نيوتن العظيم في القرن السابع عشر. لقد كان أينشتين مصيبا في كل شيء عدا شيء واحد.

فالزمان والمكان في نظرية أينشتين عن الجاذبية قد تم جدلهما معا بحذق.



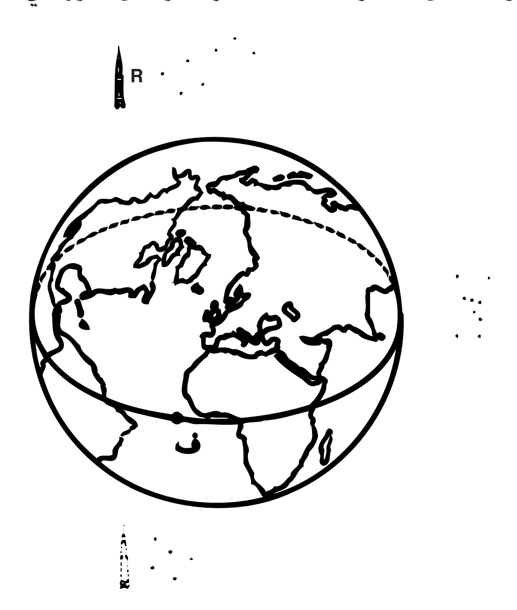
شكل (15- 3) الجاذبية تسبب انبعاج المكان-الزمان. جسم ثقيل يسبب انبعاج المكان والزمان. الخط المنقطع بين المسار الذي ستتبعه كرة تتدحرج عبر هذا السطح المتخيل للمكان-الزمان. ويُفسّر الانحراف حول الانبعاج على أنه نتيجة لقوة الجاذبية.

لقد نظر إلى المكان بوصفه منبعجا وبحضور الأشياء، ونحن عندما نلقى التواء فإنه ينحرف بنا بعيدا عن مسارنا المستقيم. وهذه الدفعة الظاهرة هي ما نسميه بقوة الجاذبية. وعندما تخطو بعيدا من فوق قنطرة عالية

فإن ما يشدك إلى أسفل هو انبعاج المكان الذي تسببه الأرض.

وهناك قياس قديم بالتمثيل يمكن أن يساعد في فهم الأمر. فنحن نعيش في ثلاثة أبعاد، ولكن هب أنهما بعدان فقط، أي أننا «رجال مفلطحون». ويمكن تمثيل ذلك بملاءة مشدودة من المطاط ذات بعدين، ولو أسقطت عليها بذرة بازلاء فإنها ستحدث انخفاضا صغيرا، أما الكرة الثقيلة فسوف تحدث انبعاجا عميقا في الملاءة المطاطة. وإذا دحرجت كرة عبر الملاءة فإنها سوف تدور في انحناءة حول الانبعاج. والرجل المفلطح سيقول إن الكرة قد جذبتها قوة ما-هي «الجاذبية». ونحن بقدرتنا الأعظم على الرؤية، سنقول إن انبعاج المكان هو المسؤول-الانبعاج الناجم عن كتلة الشيء.

وفي الكون الواقعي يبدو المكان ثلاثي الأبعاد، والكتل-مثل الأرض والشمس والمجرات-تسبب انبعاج المكان في بعد رابع. ولعل هذا مما يصعب تخيله، بل إنه أكثر صعوبة في واقع الأمر، فأينشتين يقول إن الانبعاج يصيب المكان (و) الزمان. والشمس قد قوست المكان حولها ونحن ندور في هذا الانبعاج.



شكل (10- 4) الرحلات الدائرية بالمقاييس الأعلى. الرجل المفلطح ف لا يستطيع أن يخبر إلا بعدين فحسب، وهو يدور حول الكرة الأرضية ويجد نفسه وقد عاد إلى نقطة البداية!

السفينة الصاروخية تحوي كائنات ذكية-فنحن نعرف الأبعاد الثلاثة، ونحن ننطلق شمالا تجاه النجوم الشمالية، لنعود في النهاية عن طريق صليب الجنوب لنكون قد درنا حول الكون-منحنين في البعد الرابع.

والأشياء ذات الكتلة الأكبر تسبب انبعاجا أكبر في المكان-فالمجرات تسبب انبعاجة للكون أكثر مما تسببه أنت أو أنا. ولكن كيف ينبعج المكان-الزمان على نطاق الكون بأسره؟ إن مستقبل الكون على المدى البعيد يعتمد على الإجابة عن هذا السؤال.

هنا على وجه التحديد ارتكب أينشتين خطأه الفادح.

كانت المعلومات الفلكية في أول هذا القرن أقل كثيرا جدا مما هي عليه الآن وأكثر افتقارا إلى التحديد والدقة. وقد بدأ الكون في ضوء هذه المعلومات ثابتا ودائما وغير قابل للتغير. على أن نظرية أينشتين كان فيها ما يدل على أن الكون يتطور. وقد أزعجه هذا التضارب ومن ثم أدخل على معادلته قطعة إضافية (عرفت «بالثابت الكوني») لتصبح متلائمة مع ما بدا أن الطبيعة تتطلبه. على أن المعطيات الحالية تبين أن هذا الثابت لا حاجة له. فالكون في حالة تمدد، ولو أن أينشتين لم يعدل نظريته الأصلية هذا التعديل الأخرق لربما أمكنه أن يكتشف هو نفسه أن الكون يتمدد. والواقع أن هذا الاكتشاف لم يحدث إلا في عام 1922 عندما بين عالم الرياضيات السوفييتي ألكسندر فريدمان أن الكون يتطور وأنه إما «مفتوح» أو «منغلق».

والكون «المنغلق» هو مثل ثقب أسود هائل مكتف بذاته. وهو يحوي من المادة قدرا كبيرا جدا بحيث إن المكان ينحني ليرتد مباشرة على نفسه. وإذا كان من الصعب تخيل ذلك فلنلجأ ثانية للتشبيه ثنائي البعد، حيث يصبح المكان مثل كرة سوف يزحف فيها الرجل المفلطح مرتحلا للشرق ويدور من حول الكرة. وفي الكون الحقيقي، تبدأ الرحلة من القطب الشمالي تجاه النجم القطبي ثم تدور من حول الكون لتعود إلى الأرض تجاه صليب الجنوب. وبكلمات أخرى فإن الكون يصبح متناهيا، ولو كان هناك ما هو «خارجه» أو «وراءه» فإننا لا نستطيع الوصول إليه. أما في الكون «المفتوح» فإن المكان، وعلى عكس ما سبق، يظل ينحني أبدا انحناء رهيفا. وما يماثل ذلك في تمثيل البعدين هو شكل السرج.

فأي كون منهما هو الذي نعيش فيه ؟ إننا لا نعرف. والأمر يعتمد على

متوسط كثافة المادة خلال المكان بأسره. فإذا كانت هذه الكثافة أكبر من قدر حرج معين، فإن الكون يكون منغلقا، وإذا كانت أقل من هذا القدر فإن الكون يكون مفتوحا. ونظرية أينشتين لا تسمح بأي احتمال آخر. وبعض النظريات عن الانفجار الكبير (التي تسمى «الكون الانتفاخي») تتطلب أن تكون الكثافة مساوية بالضبط للقدر الحرج. وإذا أمكننا اكتشاف كل أشكال المادة التي في أغوار الفضاء فسوف نتمكن من التنبؤ بما إذا كان الكون سيتقلص أو أنه سيتمدد إلى الأبد. ولكن هناك مادة كثيرة هي أشد إظلاما من أن نراها ويتعلق السؤال الكبير الآن بطبيعة ومدى وفرة هذه «المادة المظلمة». وتطرح النظرية الحديثة عن «الأوتار الفائقة» (الفصل الثاني عشر) فرضية تقول إنه يمكن أن يكون هناك كون كامل مظلم يعمل بالتوازي مع كوننا! ونحن في حاجة إلى أن نعرف ما إذا كان هناك وجود لهذه المادة المظلمة أم لا. فكيف يمكن أن نأمل في رؤية النجوم «الخفية»؟

ما الذي يختبئ في الظلام؟

لو أنك درت حول زاوية بسرعة أكثر مما ينبغي ستجد نفسك خارج الطريق. ولو أنك اندفعت حول الشمس أو المجرة بسرعة أكثر مما ينبغي ستجد نفسك وأنت تلف مبتعدا في أعماق الفضاء. وكلما ابتعدت الكواكب عن الشمس قل ما محس به من شد الجاذبية، وقلت سرعتها في مدارها الأبدي بما يناظر ذلك. وقد استقر كل كوكب على سرعة معينة بحيث يكون هناك توازن بين الوقوع للداخل والطرد المركزي للخارج.

على أننا إذا ما نظرنا إلى المجرات اللولبية، فستبدو النجوم وهي تدور بسرعة أكبر من أن تسمح لها بالبقاء، فالنجوم المرئية ليس لديها من الكتلة المقدار الكافي للإبقاء على المنظومات متماسكة معا بوساطة الجاذبية- لكنها تظل باقية مع ذلك.

ومجموعات المجرات تدور إحداها حول الأخرى. وهنا أيضا فإنها تتحرك بسرعة أكثر مما ينبغي، إلا أنها تتمكن من أن تستمر في رقصتها الكونية. ولا بد أن هناك شيئا آخر يبقيها متماسكة معا-بلازما خارجية etcoplasm أعتم من أن ترى، وهي تنتشر في كل مكان، وتتخلل المجرات، إنها غير مرئية على الإطلاق وذات كتلة هائلة. ولا يعرف أحد بعد ماذا تكون هذه

المادة، ولكن الفلكيين واثقون من أنها موجودة هناك. وتوضح الرقصة الكونية للمجرات اللحن الذي تعزفه الطبيعة، ومازال ما لم نكتشفه داخل الأوركسترا أكثر بكثير مما اكتشفناه حتى الآن.

وعلى وجه التقريب فإن 90 في المائة من كتلة الكون لابد أن تكون مصنوعة من هذه المادة المظلمة. أما المادة العادية المرئية التي تسطع في السماء، وتلتقطها أشعة إكس وتليسكوبات اللاسلكي والأشعة تحت الحمراء، فليست سوى شيء يطفو في بحر من المادة الخفية. فالمادة المظلمة هي المسيطرة «العرض».

ولا يمكن أن يكون هناك الكثير من المادة المظلمة في جيرتنا المباشرة لأن الكواكب تدور حول الشمس حسب القواعد المحددة. على أن الأمور لم تكن دائما هكذا. وأشهر تنبؤ ناجح عن المادة المظلمة هو ما كان بشأن الكوكب نبتون. فمنذ 150 عاما كان أورانوس هو أقصى كوكب خارجي، وكان مداره «لا يتبع القواعد». وفي عام 1843 تنبأ جون آدمز في إنجلترا بوجود كوكب آخر غير مرئي وأشار على علماء الفلك بالمكان الذي يجب أن يبحثوا فيه، ولكنه كان شابا مغمورا فلم يلتفت أحد إليه. وبعد ذلك بثلاث سنوات طرح أوربان ليفريير الفكرة نفسها على نحو مستقل في فرنسا، وبعد اكتشاف نبتون في تلك السنة نشأ نزاع حول من ينبغي أن ينسب له فضل الاكتشاف.

وكان اكتشاف نبتون نجاحا عظيما: إنه التنبؤ بالمادة المظلمة عن طريق تأثيراتها على ما هو مرئي-مثل الرجل الخفي في زاوية هـ. ج. ويلز الذي يتضح وجوده من شقه لطريقه وسط الجمهور. وحاول ليفريير أن يكرر نجاحه هذا مع حالة الكوكب عطارد، أقصى نجم للداخل. فهو أيضا لا يتبع القواعد وطرح ليفريير أن هناك كوكبا آخر قريبا من الشمس اسمه فولكان. ولم يتم العثور على أي شيء، وأصبحنا نعرف الآن أن السبب في شذوذ عطارد هو فشل نظرية نيوتن للجاذبية في المجالات الجذبية القوية مثل تلك القريبة من الشمس. ففي مثل هذه الأحوال فإن النظرية التي تنطبق بدلا من نظرية نيوتن هي نظرية النسبية العامة لأينشتين، فهي توصف مدار عطارد توصيفا سليما.

وقد حاول بعض الفيزيائيين تجنب المادة المظلمة تجنبا كليا بأن طرحوا

فكرة أن قوانين نيوتن تخفق على مستوى المجرات، ومن هنا يكون السلوك «الشاذ» للمناطق الخارجية من المجرات. على أن فيزيائيين آخرين نادوا بأن هذه الفكرة تثير المشاكل أمام العلاقة التجريبية ما بين سرعة وضياء المجرات. والرأي السائد بين العلماء لا يميل إلى تحبيذ هذا الحل للغز.

وقد يكون هناك قدر ضئيل من المادة المظلمة في الأطراف الخارجية للمنظومة الشمسية هو المسؤول عن شذوذ مدار نبتون. (كما سبق القول في الفصل الرابع، فإن بلوتو ذا الحجم الصغير لا يصلح حقا لتفسير ذلك، والتفسير المفضل هو الكوكب إكس الذي لم تتم رؤيته بعد). وهو ما يمثل، على نحو غير مقصود، شهادة مدهشة على دقة قياس حركة نبتون. فنبتون يدور ببطء شديد جدا حتى أنه منذ اكتشافه من 150 سنة لم يتم بعد دورة واحدة!

إن النجوم التي في المجرات البعيدة تسلك وكأن المادة المظلمة تشكل هالات على أطراف المجرات. ولما كنا مغمورين في مجرتنا نحن المليئة بالغبار فإنه يحدث أحيانا أن يكون تعرفنا الأشياء التي في مجرتنا «درب التبانة» أصعب من تعرفنا الأشياء التي في المجرات القصية حيث يمكننا هناك أن نمعن النظر داخلها من الخارج، راصدين المشهد كله. على أننا يمكننا أن نحصل على إشارات غير مباشرة برصد المجرات القزمية، تلك الجيران القريبة منا، لنرى كيف تسلك نجومها-وهي قريبة منا بما يكفي لأن تبدو في أي هالة مظلمة قد تكون حولنا.

وهذه المجرات القزمية يقل فيها عدد النجوم إلى عدة مئات من الآلاف. وتقع هذه النجوم على مستوى يمتد مع السحب الماجلانية ومع مجرتنا الضخمة درب التبانة، مما يوحي بأننا كلنا مرتبطون، وأننا بقايا لمجرة أولية أصلية في الكون المبكر. وهذه التجمعات المسماة بأسماء رومانسية-المثال، والتنين والجؤجؤ وغيرها-هي صغيرة جدا بحيث لا تكاد تلحظها لو كنت تنظر من المرأة المسلسلة للداخل. وهكذا فإن المرأة المسلسلة بدورها إذا كان لديها مجرات قزمية صغيرة هكذا، فإنه من غير المحتمل قط أن نعرف عنها شيئا إلا إذا قمنا برحلة لها. وهو ما يطرح أن المجرات القزمية الموجودة خلال الكون بأسره يمكن أن تضيف قدرا له اعتباره من المادة «المظلمة».

ومما يؤسف له أنه يتعذر أن نرى مجراتنا القزمية على الإطلاق، دع عنك أن نقيس النجوم المكونة لها قياسا دقيقا. فبعض الراصدين يزعمون شيئا بينما يزعم الآخرون شيئا آخر.

على أن درب التبانة الكبير هو وجارتنا العملاقة «المرأة المسلسلة» يبدو سلوكهما بالفعل سلوكا خاطئا. فالمجرتان تندفع كل منهما تجاه الأخرى، مقتربتين بمعدل 100 ميل في كل ثانية. ومع ذلك فليس هناك داع لأن ننزعج من هذا، لأن اصطدامنا سيتطلب عدة بلايين من السنين إذا كنا حقا على طريق الاصطدام، على أن مجرد فكرة أننا نقترب من بعضنا البعض هكذا لا بد أن تثير بعض القلق.

وقد ينحصر الأمر في أننا نشبه سفينتين تعبران في الليل مجرتين هائلتين في رحلتين مستقلتين خلال الكون. ولكن الأمر يكاد يبدو على هذا النحو وكأنه ضربة حظ. وانطلاقا من الاتساع الهائل للفضاء الذي يمكن لأي منا أن يكون فيه، فإن هاتين المجرتين تبدوان مرتبطتين ومقيدتين في مدارات متبادلة إحداهما حول الأخرى بمثل ما تدور الكواكب حول الشمس. ولو كنا مربوطين هكذا بلا فكاك منذ تكويننا فيما يلي الانفجار الكبير، فما كان ينبغي لنا أن نتقارب بهذه السرعة. ولا بد من وجود الكثير من المادة المظلمة فيما حولنا لتمد بهذا الشد الإضافي، أما المجرات القزمية وحدها فلا تمثل شيئا يذكر.

والرأي الذي يجمع عليه العلماء هو أن للمادة المظلمة وجودا غزيرا، ولكننا لسنا واثقين من أي تفاصيل حول مقدار ما يوجد منها ولا مكان وجودها. ومن الأهمية بمكان الإجابة عن هذه الأسئلة لأن الكون شيء حي متمدد ودائم التغير، وستكون المادة المظلمة هي ما يحدد مصيره النهائي. فإذا كان يوجد حولنا الكثير منها فإن شد جاذبيتها سيثقل الكون لأسفل، مبطئا من اندفاعه للخارج حتى يصل إلى الحد الذي يتوقف فيه الكون عن ذلك ثم يتقلص في انسحاق عظيم. وإذا كانت كمية المادة المظلمة أقل من هذا القدر الحرج فإن الكون سوف يتمدد إلى الأبد، وسوف تستنفد النجوم والمجرات بأسرها وقودها، وتتآكل المادة لتخلف فحسب الإلكترونات والإشعاع. ونحن لا نستطيع أن نقول واثقين إلى أي حال سوف تنتهي الأمور، لأنه يبدو أن الكون قريب جدا للخط الحرج الذي يفصل ما بين

التقلص واستمرار التمدد.

ولا يعرف أحد بعد مم تتكون هذه المادة المظلمة. وحتى يصل علماء الفيزياء الفلكية إلى نظريات عن ذلك فإن عليهم أن يلجأوا إلى فيزياء الجسيمات. وقد تكون جسيمات النيوترينو هي الإجابة عن ذلك. فإذا كان الكون قد بدأ بانفجار كبير ساخن فإن النظرية تتنبأ بأنه ينبغي أن يوجد ما يقرب من 100 نيوترينو في كل سنتيمتر مكعب من الفضاء أي 100 مليون ضعف كثافة البروتونات التي توفر معظم المادة المرئية في النجوم. ومن ثم فلن تكون المجرات المرئية سوى مجرد جزر في بحر ضخم من جسيمات النيوترينو.

وإذا كان لجسيمات النيوترينو كتلة صغيرة فإنها ستتحرك في أول 10 آلاف سنة بعد الانفجار الكبير بسرعة تكاد تصل إلى سرعة الضوء، مندفعة إلى الخارج مع الكون المتمدد. وإذ يبرد الكون، فإن جسيمات النيوترينو ذات الكتلة تكون قد بدأت في تشكيل تجمعات تحت تأثير تجاذبها المتبادل. وهذه الكتل المتجمعة ستغطي الكون كله. وسوف تتخللها مناطق محلية غير مستقرة تشكل القلب من تجمع المجرات الذي تتكثف منه المجرات المنفردة. ويسمى هذا السيناريو بلغة علماء الفيزياء الفلكية بسيناريو «من أعلى لأسفل» لأن المجرات الصغيرة تنبثق من التجمعات الكبيرة. على أن المجرات في الكون الحقيقي هي أكثر تباينا مما نتوقع أن تقودنا إليه محاكاة الكمبيوتر لآلية سيناريو «من أعلى لأسفل».

لقد نجحت النظريات الحديثة عن المادة والقوى الطبيعية نجاحا رائعا في توصيف التجارب التي يتم إجراؤها بالجسيمات تحت الذرية في معجلات الجسيمات. والواقع أن العديد من العلماء قد تشجعوا على تطبيق هذه الأفكار على ظواهر هي حاليا خارج نطاق تجارب المعمل ولجنها متاحة في أماكن أخرى في الكون. وكمثال على ذلك فبم يخرجون بمقولات عويصة عن طبيعة الكون المبكر في الانفجار الكبير الساخن وعن أصل المادة في تلك الفترة.

على أن الأمور لا تتصف كلها بالكمال. فهناك بعض المشكلات الرياضية الفنية يؤمن الكثير من العلماء بأنه يمكن حلها لو كان هناك وجود لجسيمات ذات كتلة لم يتم الكشف عنها بعد. وهذه يطلق عليها أسماء غريبة مثل

جسيمات الأكسيون axions وجسيمات الفوتينو photino وبوزونات هيجز والأقطاب الأحادية، وحاليا فإن التجارب تبحث، أو هي تخطط لتبحث عن هذه الجسيمات في المستقبل القريب. وإلى أن نجد الدليل على وجود هذه الجسيمات فإنها تظل مجرد فروض، ولكنها إذا كانت حقيقية فإنها تكون قد تكونت في الانفجار الكبير مع الجسيمات التي تنشئ في النهاية ذراتنا. ورغم أنها قد تكون غير شائعة الآن فربما تكون قد تركت حفريات منطبعة في الطريقة التي نشأ بها الكون، وبعض هذه الجسيمات يتنبأ بأنها أثقل كثيرا من البروتونات، أثقل منها بآلاف المرات أو ربما ببلايين المرات. بل إن بعضها قد يكون مستقرا. وفي اللحظات الأولى من الانفجار الكبير حيث الكون ساخن بما لا يمكن تصوره، أي أسخن كثيرا من أي نجم الآن، فإن أي جسيمات ساخنة سوف تندفع فيما حولها مثل كل شيء آخر. ولكن الكون بردت حرارته بأسرع مما يبرد قدح القهوة في سيبيريا، وبالتالي تجمدت الجسيمات الثقيلة ساكنة خلال ثوان. أما الجسيمات الأخرى الأخف فهي تتجمع لتبني المجرات والنجوم ثم تبني في النهاية المادة المألوفة لنا اليوم، وأثناء ذلك تكون أبناء عمومتها من الجسيمات البطيئة قد ترسبت معا بالجاذبية، لتشبه تكتلات قد تكون في شكل نجوم كشمسنا أو قد تنحو نحوها الخاص بها. والحقيقة أن إحدى النظريات تقول إن هذه الكتل الضخمة هي البذور التي أوقعت في شباكها الجسيمات سريعة الحركة خفيفة الوزن، أي الإلكترونات والنيوترونات والبروتونات، لتشكل تجمعات من كل مقاس، ابتداء من تجمعات النجوم حتى تجمعات المجرات المنفردة أو مجموعات المجرات. وتنشأ التجمعات الصغيرة منها أولا ثم تندمج فيما بعد في تجمعات أكبر. ويعرف هذا السيناريو باسم «من أسفل لأعلى» ويبدو أن هذا هو ما يشبهه الكون الحقيقي.

وعلى ذلك فإن حركة النجوم خلال المجرات توحي بأن هناك مادة مظلمة موجودة فيما حولنا. كما أن توزيع المجرات خلال الكون يشير إلى أن هذه المادة المظلمة تتكون من جسيمات ثقيلة لم تتم رؤيتها بعد في التجارب التي تجري في المعجلات ذات الطاقة العالية في معامل العالم. ويعتمد المستقبل، ليس بالنسبة للشمس وحدها بل بالنسبة للمجرات والكون كله، على أشكال للمادة هي غير معروفة. ومستقبل الفيزياء الفلكية وعلم

الكونيات سيصل إلى الاعتماد أكثر وأكثر على فيزياء الجسيمات: أي دراسة المكونات الأساسية للمادة.

وتبدو الاكتشافات الحديثة حول سلوك هذه الجسيمات الأساسية منطوية على دلالات مذهلة بالنسبة لمستقبل البنيات ذات المقياس الكبير، بما فيها أنت وأنا.

الجزء الرابع
قلب المادة

11 ما مدى استقرار المادة؟

تجمدت كل الأنهار والبحيرات والمحيطات في دوي هائل حينما أسقط العالم المجنون كورت فونجت بضعة جزئيات من «ثلج-تسعة» في أحد الجداول. و«ثلج-تسعة» هو شكل (افتراضي) من الماء أكثر استقرارا من شكل الماء المألوف، ويتجمد في درجة حرارة الغرفة. وتقول القصة إن الماء العادي هو حالة ما وراء الاستقرار وأنه يتحول إلى الشكل المستقر-أي «ثلج-تسعة»-عندما يلاقي أي أثر ضئيل من هذا الثلج.

ولو وضعت «ثلج-تسعة» في كأس ويسكي وصودا فستحصل في الحال على كأس ويسكي بالثلج، ولكن إياك أن تشربه وإلا الماء الذي في جسدك سوف يتبخر في التو. وإذا كان الماء في حالة ما وراء الاستقرار فإن وجودنا يصبح وجودا منطويا على المخاطر.

وحمدا لله على أنها رواية خيال علمي. ومع ذلك فإن بعض المنظرين الفيزيائيين يؤمنون بأن الكون ربما يحتوي على مادة مشابهة لثلج-تسعة، تسمى «المادة الغريبة»، أكثر استقرارا من المادة التي صنعنا منها، إن النوى الذرية، أي بذور المادة، هي مشحونة كهربيا ويمكنها أن تجذب المادة الغريبة

مثلما يقبض القطبان الشمالي والجنوبي لمغناطيسين أحدهما على الآخر. وعندها فإن المادة الغريبة المستقرة سوف تلتهم المادة التقليدية. وكل الذرات في أي شيء، وليس في الماء فحسب، هي عرضة لهذا المصير. فعالمنا هذا يمكن أن ينهار من حولنا بالمعنى الحرفي للكلمة.

إننا على ثقة كبيرة بشأن الكون الذي يمكننا رؤيته: ففي إمكاننا إعادة إنتاج تفاصيله في العمل، وأن نرقبه هكذا وهو يعمل في ظروف محكومة، وأن نتنبأ بالكسوف، ونبني الآلات التي يمكنها أن تطير عبر الفضاء، وكل هذا مؤسس على فهمنا لقوانين الفيزياء. وبإمكاننا أن ننظر للضوء الآتي من الأبراج البعيدة والمجرات القصية، وستبين لنا البصمات الطيفية أن القوانين نفسها تعمل على نطاق الكون. بل ويمكننا أن نتنبأ بموت النجوم، ومتى يتفجر أحدها للداخل، كما في سوبرنوفا 1987، ويمكننا مراقبته وأن نرى أنه قد سلك كما ينبغي أن يسلك في ضوء نظرياتنا. والمعنى المتضمن في ذلك كله هو أن الكون المرئي هناك بالخارج مصنوع من تنويعة الجسيمات نفسها التي صنعنا منها أنت وأنا، والموجودة في كل مكان، أي من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات، ولكنها تتحد معا بطرق مختلفة في درجات الحرارة والضغوط المختلفة. وذلك تعميم رائع ويجب أن يدرج بين الإنجازات العظيمة للعقل البشري.

ولما كانت المكونات الأساسية متوافرة هنا على الأرض، فإن بإمكاننا أن ندرسها في المعمل تحت الظروف التي ستلاقيها في النجوم ونرى كيف ستسلك، بل ويمكننا أن ندفع بها إلى درجات الحرارة السائدة في اللحظات الأولى من وجود الكون فنتعلم كيف كان أصل المادة المكتلة. ونحن إذ نفعل ذلك نبدأ في رؤية إشارات على أن الكون الذي نعرفه ربما لا يشكل سوى جزء صغير من الكل.

لقد ركزنا في حكايتنا حتى الآن على الكون بالمعنى الواسع-سلوك المادة المكتلة التي تتراوح بين الحجارة الصغيرة في وابل الشهب مرورا بالمذنبات والكويكبات وحياة وموت النجوم وحتى الحركة الجموعية لمجرات بأسرها. وعندما نظرنا في هذه الأمور نظرة أكثر قربا بدأنا نرى دلائل تشير إلى أن هناك فجوات عديدة في معرفتنا. فما الذي يجري عميقا في داخل الشمس؟ وما المادة المظلمة التي تكشف عن نفسها بدفعها للمجرات؟ وهل تلك مشاكل

مثيرة للاهتمام من الوجهة العقلية لكنها بلا أهمية عملية، أم أنها قد تنطوي على أخطار تهددنا؟

إننا نلاقي بعض المقترحات بشأن طبيعة ما يحدث. فالجسيمات المسماة بالنيوترينو والآتية من الشمس تنطوي على دلالة تفيد بأن ثمة شيئا غير موات، ويتركز الجدل فيما إذا كانت جسيمات النيوترينو نفسها هي المسؤولة عن ذلك أم أن هناك جسيمات مجهولة ثقيلة الوزن (ويمبات Wimps) توجد في مركز الشمس. ولعل هذه الويمبات موجودة في الكون كله ولعلها المادة المظلمة. ومازال علينا أن ننتظر لنعرف إذا كانت الأمور تسير على هذا النحو أم لا، ولكني أعيد ذكره هنا لأشير إلى التغير في الاتجاه الذي نوشك أن نتخذه في هذه الحكاية. فقد بدأنا نركز بدرجة أقل على المادة المكتلة، وبدرجة أكبر على الجسيمات الصغيرة التي تبني هذه المادة. وبمراقبة جسيمات النيوترينو في المعمل فإننا نأمل أن نرى ما إذا كانت تسلك سلوكا شاذا أو لا، وبالتالي إذا كانت هي المسؤولة أم شيء آخر عن مشكلة نيوترينو الشمس. ونحن إذ نصدم عنيفا الإلكترونات أو الجسيمات النووية أحدها بالآخر، يصبح بإمكاننا إنتاج تركيزات من الطاقة يمكنها أن تختثر الجسيمات في أشكال جديدة من المادة، مثل الويمبات، إن كان لها وجود. فالجسيمات الأساسية للكون انبثقت من الحرارة الشديدة للانفجار الكبير، وإذا أعدنا خلق هذه الحرارة في المعمل فسنتمكن من رؤية ما جهزته الطبيعة لتقدمه لنا في قائمتها.

وهناك بالفعل أسئلة محيرة ومزعجة قد أثيرت نتيجة لهذه البحوث: هل الجسيمات الأساسية مستقرة أم أن البروتونات تضمحل، وبالتالي فإن الكون يتآكل بإصرار، مهما كان اضمحلال البروتونات بطيئا جدا، والمكان والزمان يبدوان بمنزلة الهيكل العظمي الذي يتطور من فوقه الكون الحي. فهل يمكن أن يتهاوى المكان-الزمان ؟ هل يمكن أن يتوقف الزمان ويجري إلى الوراء أو أن يتواثب في تقطع؟ أو أن تنفصل منطقة من المكان عن ارتباطها بمنطقة أخرى بحيث نصبح معزولين وجانحين فوق جزء ضخم من الكون يماثل كتلة جليد طافية وتذوب؟ وإذا كنا جميعا سلالة لانفجار كبير ابتدائي انبثق من لا شيء، خالقا معه المكان والزمان؟ فهل يمكن أن يحدث هذا في ثانية خلال كوننا الحالي؟ ولماذا توجد ثلاثة أبعاد للمكان،

أم أن هناك أبعادا أكثر من تلك المألوفة لنا؟ هل يمكن أن تزيد هذه الأبعاد داخل غرفة جلوسك بحيث إن الأبعاد المألوفة من أعلى وأمام وجانب تتكسر إلى نوع من البنية المزبدة غير القابلة للتصور؟ هل يمكن أن تكون هناك أكوان أخرى، لا ترى، وتعمل في تواز مع كوننا نحن؟ هل هناك نجوم مظلمة هي وكواكبها الخاصة بها في جيرتنا مباشرة؟

هكذا يثور الجدل حاليا حول الكثير من هذه الأسئلة. ومنذ سنوات معدودة كانت أي قائمة أسئلة من هذا النوع ستنبذ على أنها مجرد أفكار في رواية خيال علمي. أما اليوم فإن من الصعب على الإنسان العادي (بل حتى على الكثير من العلماء) أن يعرفوا أيا من هذه الأسئلة هو علم جدي وأيها هو خيال روائي واضح.

ويحدث في الوقت الراهن تغير سينطوي على مفارقة. فنحن من ناحية نفهم الكون بأعمق مما فهمناه قط في التاريخ، ولدينا نظريات يمكن اختبارها تبين كيف انبثق الكون وكيف سيموت؟. إلا أننا أصبحنا أيضا نعي أننا كلما زاد فهمنا زادت الاحتمالات الغريبة لجهلنا. فالكون قد يكون في الحقيقة أغرب بكثير مما يمكننا أن ندركه.

من هنا سنقوم الآن برحلة داخل المادة لنرى ما الذي تعلمنا إياه عن مصير الكون. ثم نلقي نظرة على آخر النظريات ونتعلم أشياء هي أغرب من رواية خيال علمي.

قلب البصلة الكونية

دراسة الكون بالمعنى الواسع هي دائرة اختصاص علماء الفيزياء الكونية، وعلماء الفلك، وعلماء الكونيات. وهم قد شغلوا أنفسهم ببنى Structures تفوق أبعادها السنوات الضوئية في الامتداد الميكروسكوبي العجيب للبلورات، والجزيئات، والذرات، والجسيمات تحت الذرية. وهذه الجسيمات التي تسمى «الجسيمات الأولية» هي لبنات البناء المشتركة لكل المادة المعروفة في الكون. وهذا فإننا حتى نفهم أصولنا، بل وربما أيضا حتى نرى المفاتيح التي تؤدي إلى المصير النهائي للكون، فإننا نحتاج إلى دراسة أصغر مكوناته.

هيا خذ نفسا عميقا! لقد استنشقت في التو ذرات الأكسجين التي تنفسها من قبل كل شخص نفخت فيه الحياة. وفي وقت أو آخر احتوى

جسدك على ذرات كانت ذات مرة جزءا من موسى أو من إسحق نيوتن. ويمتزج الأكسجين مع ذرات الكربون في رئتيك ثم تزفر جزيئات ثاني أكسيد الكربون. ها هي الكيمياء تعمل. فالنباتات ستعيد تنظيم هذه الذرات، وتحول ثاني أكسيد الكربون ثانية إلى أكسجين، وفي زمن ما في المستقبل سيستنشق أسلافنا بعضا منه.

ولو أمكن للذرات أن تتكلم فما القصة التي سترويها لنا. إن بعض ذرات الكربون التي في المداد الموجود فوق هذه الصفحة ربما كانت ذات مرة جزءا من أحد الديناصورات. وقد تكون نوى هذه الذرات قد وصلتنا في الأشعة الكونية، وقد تم اندماجها من الهيدروجين والهليوم في نجوم بعيدة بائدة. على أنه أيا كانت تواريخها المختلفة فإن هناك شيئا واحدا مؤكدا. فمعظم المكونات الأساسية لهذه الذرات موجودة منذ الانفجار الكبير الأولي عند بدء الزمان.

فالذرات هي النواتج النهائية المعقدة للخلق. ومكوناتها الأساسية تخلقت خلال الثواني الأولى من الانفجار الكبير. وقد انقضت آلاف عديدة من السنين قبل أن تتحد هذه الجسيمات لتصنع الذرات. والظروف الباردة التي توجد فيها الذرات الآن بعيدة كل البعد عن الحرارة الشديدة للانفجار الكبير. وعلى ذلك فحتى نعرف ماهية الأصول علينا أن ننظر داخل الذرات، وأن ندرس بذور المادة هذه.

وإذا أردت أن ترى مم صنعت الأشياء فإن عليك أن تنظر إليها عن كثب. وأنت ترى الأشياء بأن تسلط عليها أشعة ساطعة، مثل ضوء من الشمس أو من مصباح ويرتد الضوء من هذه الصفحة إلى عينيك. ومهما نظرت عن كثب فإنك لن تستطيع أن ترى ذرات الكربون في مداد هذه الحروف. ومهما كبرتها كما تشاء، فإن رؤية ذلك مستحيلة على الإطلاق.

إن قوة الميكروسكوب ليست في قدرته على تكبير الأشياء، وإنما تكمن بالأحرى في قدرته على فصل الأشياء التي توجد متقاربة جدا معا، أي قدرته على تحديد الأشياء. وحتى ترى الذرات فإنه يجب أن تتمكن من فصل الواحدة عن التالية لها. والضوء المرئي لا يستطيع تحديد مسافات هي أصغر من نحو جزء من الألف من الملليمتر. وهناك قانون في الطبيعة يقرر أنه كلما كان الشيء أصغر فإنك تحتاج إلى إشعاع ذي طاقة أكبر حتى

يمكنك تحديد الشيء. ولا يمكنني أن أفسر لماذا يكون الأمر هكذا؟ فالطبيعة هي هكذا. والضوء المرئي ليس فيه الطاقة الكافية لأداء هذه المهمة.

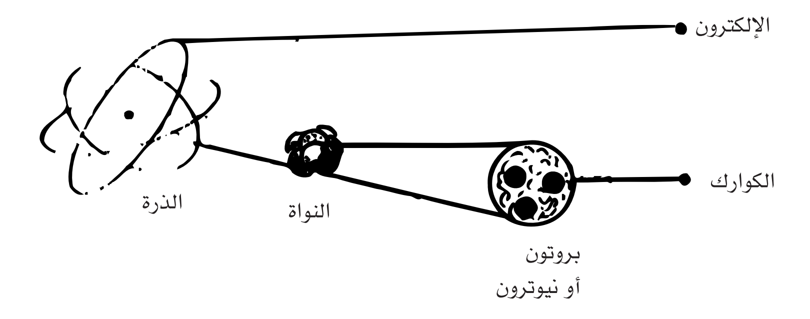
وها هنا يصبح للميكروسكوب الإلكتروني فائدته. فبتعجيل حزم أشعة الإلكترونات بتيار ذي جهد عال يمكن خلق إشعاع قوته كافية لتحديد بنيات صغيرة صغر الذرات.

وهذا هو عالم معجلات الجسيمات ذات الطاقة العالية التي تقوم في المعمل بإعادة إنتاج درجة الحرارة الشديدة التي في النجوم، وتخلق أوجه محاكاة ضعيفة للانفجار الكبير وذلك في أحجام صغيرة تصل أبعادها إلى قدر محدود من الذرات. والتي يصل طولها إلى أميال عديدة، تقوم بتعجيل أجزاء من ذرات حتى تتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء. وبعدها فإنها ترتطم عنيفا بنوى ذرية لمادة تقبع منتظرة عند نهاية المعجل. وتبين لنا هذه التجارب البنية الداخلية للنواة الذرية بتفصيل دقيق. وبذلك نكون حددنا العمليات التي ينتج عنها تزويد النجوم بالوقود.

وقد بدأ أحد معجلات الإلكترونات العمل عام 1967 في ستانفورد بكاليفورنيا، وهو معجل يبدل طوله ميلين. ويتم فيه تعجيل الإلكترونات بطول الأنبوب المفرغ باستخدام ما يزيد على 20 بليون فولت. وتبدأ الإلكترونات رحلتها قرب فالق «سان أندرياس»، ثم تغوص أسفل طريق عام قبل أن تخرج على بعد ميلين إلى حظيرة ضخمة حيث توجد خرسانة تحمي البشر من الإشعاع الشديد. ويقبع في مسار الإلكترونات هدف هو مادة تفاصيلها الداخلية على وشك أن تتكشف.

والتركيب العميق للمادة يكون في طبقات مثل البصلة. وتتكون الذرات من إلكترونات ذات شحنة سالبة تحيط بنواة مدموجة ذات شحنة موجبة. وتتكون النواة من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة.

وحزمة أشعة الإلكترونات في ستانفورد قوية جدا بحيث إنه يمكنها أن تكشف ليس عن التفاصيل الدقيقة للذرات أو لنوى الذرات فحسب، بل وتفاصيل البروتونات والنيوترونات التي تبني النواة أيضا. وهنا أصبح بإمكاننا لأول مرة أن نمعن النظر داخل البروتونات! وقد وجدنا أن هذه الجسيمات الصغيرة لها تركيب مفصل خاص بها. فهي مصنوعة من جسيمات أصغر تسمى «الكاوركات» Quarks، (انظر شكل 11-1). (ويمكنك أن تقرأ قصة هذه



شكل (11- 1) بنية المادة الأصغر من الذرة. تتكون من الكترونات ذات شحنة سالبة تحيط بنواة مدموجة ذات شحنة موجبة. والنواة مبنية من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة كهربياً تساعد على استقرار النواة والبروتونات والنيوترونات تتكون بدورها من مجموعة من الكواركات. والتجارب الحالية لم تجد شيئاً أصغر من الالكترونات والكواركات وهذه هي ما اتفق حالياً على أنها الجسيمات الأولية للمادة. وحركة الالكترونات في أطراف الذرة أو ذبذبة البروتونات والنيوترونات في النواة يمكن أن تطلق في شكل (فوتونات) أو في شكل جسيمات متعادلة كهربياً هي جسيمات النيوترينو.

الرحلة داخل المادة وأن ترى صور الجسيمات في كتاب «انفجار الجسيمات» المذكورة في قائمة اقتراحات لمزيد من القراءة).

وحسب أفضل ما هو متاح حتى الآن من الدقة التجريبية فإنه يبدو أن هذه الكواركات من الإلكترونات هي حجارة البناء الأساسية للمادة، وقد تشكلت خلال أول جزء من البليون من الثانية من الانفجار الكبير. إنها الحفريات التذكارية للخلق. والواقع أن اكتشاف الطبقة «الكواركية» للواقع المادي ربما اتضح ذات يوم أنه المفتاح الحاسم في فتح مغاليق مفهوم جديد تماما لقوانين الطبيعة. لقد غير هذا الاكتشاف من نظرتنا إلى فيزياء جسيمات الطاقة العالية وجعلنا نتبين أنها تعلمنا فحسب الكثير عن تكوين المادة الحالية، وإنما تعلمنا الكثير أيضا بشأن أصلها، أي أصلنا «نحن»، في الانفجار الكبير. كما جعلنا نعي احتمال وجود أشكال جديدة من المادة تستطيع أن تنتشر في الكون وتثير فيه الاضطراب، وطرح فكرة أن الكون يمكن أن يكون شيئا أكثر هشاشة بكثير مما كنا نتصور.

لقد انبثق الكون من لا مكان فيما يسمى الانفجار الكبير منذ ما يقرب من 10- 20 بليون سنة. والمادة التي تملأ السماوات الآن، والتي تمتد إلى أبعد من أي حدود يمكن أن تصل إليها أقوى التليسكوبات التي حدقنا من خلالها حتى الآن، هذه المادة كانت في تلك اللحظات الأولى محتواة في كرة صغيرة جدا حتى أنه يمكنك أن تتصور أنها كانت كلها مضغوطة خلال النقطة التي في نهاية هذه الجملة.

وتحت هذه الظروف فان كل شيء يكون ساخنا بما لا يمكن تصوره. والحرارة لها أشكال كثيرة، أحدها هو اصطدام كل الفتات والقطع إحداها بالأخرى اصطداما عنيفا جدا. وهذا هو نوع التجارب الذي يجريه الآن علماء فيزياء الجسيمات في العمل. فهم يقومون بتعجيل الجسيمات الأساسية للمادة إلى سرعات عالية، ثم يصدمونها معا، يعيدون بذلك في العمل خلق نوع الظروف التي كانت موجودة في الكون في اللحظات التي تلت الانفجار الكبير وإن كان ذلك في حيز صغير من المكان.

ومن دواعي السخرية أنهم يجدون أنه أمر بسيط نسبيا أن نصف القوانين التي كانت تعمل في تلك الظروف الابتدائية والقصوى. على حين تشهد بيئة الأرض الباردة حاليا حدوث ظواهر متنوعة تنوعا واسعا بما يتطلب تنوعا كاملا من القوانين لتوصيفها. ولكن الانفجار الكبير الساخن الأصلي يبدو فيه وجود نوع من الاتساق. يمكن توصيفه بقانون واحد. وهذا الاكتشاف لاحتمال وجود نظرية موحدة هو ما يثير همم الفيزيائيين حاليا ويتيح لهم استنتاج نماذج لحياة الكون كلها.

إن لكل حضارة نظريتها المفضلة عن الكون، وبعض هذه النظريات شكلت الأساس لديانات بأسرها. والملمح المهم والجديد في نظريتنا الحديثة هو أنها يمكن اختبارها في المعمل. فإذا فشلت فإنها تصبح غير ذات فائدة ويجب إهمالها. وحتى الآن فإنها قد صمدت للاختبار. بل إنها يمكن أن تكون صحيحة. وتلك هي الصورة التي ترسمها لأصولنا، ولمستقبلنا.

أصل المادة

لا تزال حرارة الانفجار الكبير الأصلي باقية، تغمر الكون كله بالجذوات الخامدة لوهجها. وقد ظل الكون شفافا لهذا الإشعاع لنحو 700 ألف سنة

بعد الانفجار الكبير. ومنذ ذلك الوقت أخذت المادة تتكتل معا في نجوم ومجرات. وأثناء ذلك استمر الإشعاع يتمدد ويبرد. وهو الآن عند درجة حرارة-270 مئوية، أي أعلى من الصفر المطلق بثلاث درجات. وهذا «الإشعاع الميكروويفي ذو الدرجات الثلاث»، هو درجة الحرارة التي تكتنف خلفية الكون.

ويهب هذا الإشعاع على جسيمات المادة التي تشكل البنيات ذات المقياس الكبير في السماوات. وهذه البنيات مكونة في النهاية من الإلكترونات والكواركات (بذور النوى الذرية)، وأشياء أخرى قليلة، تندمج كلها معا في الحرارة الأولية للانفجار الكبير عندما تكون درجة الحرارة بلايين عديدة من الدرجات. وتتخثر الطاقات إلى جسيمات وضديد الجسيمات؛ أي كيانات من الكتلة نفسها، ولكن فيها شحنة كهربائية مضادة للجسيم المناظر. وهكذا فإن الإلكترون ذا الشحنة السالبة يتشكل ومعه نظيره ذو الشحنة الموجبة أي البوزيترون. وبالمثل فإن الكواركات، التي تتجمع معا فيما بعد لتشكل الروتونات والنيوترونات، يتم تشكيلها ومعها ضديدات الكواركات (التي يصنع منها ضديدات البروتونات وضديدات النيوترونات). والإلكترونات إذ تحيط بالبروتونات تصنع ذرات المادة والبوزيترونات إذ تحيط بضديدات البروتونات وضديدات النيوترونات تصنع ذرات ضديد المادة.

وها هنا نلتقي بأحد أسرار الطبيعة.

إن الجاذبية تجذب بإصرار كل شيء آخر. وهي تمسك بأرجلنا فوق الأرض. وإذا كانت أجسادنا تظل متماسكة معا، بدلا من أن تتهاوى على الأرض في كومة من تراب، فإن هذا يرجع في جزء منه إلى القوى الكهربائية الشديدة الموجودة من داخل ذراتنا. ووجود المادة المكتلة إنما هو نتيجة للتجاذبات ما بين الجسيمات ذات الشحنات المضادة، خاصة ما بين الإلكترونات السالبة الشحنة والبروتونات الموجبة في الذرات المتعادلة.

ومن الحقائق المهمة في الحياة أن الذرات التي تحوي العدد نفسه من الإلكترونات والبروتونات هي ككل متعادلة كهربائيا. فالشحنة السالبة على الإلكترونات توازن بالضبط الشحنة الموجبة التي على البروتون. ولكن هب أن الطبيعة قد قلبت وضع الشحنات بحيث أصبحت الإلكترونات موجبة الشحنة والبروتونات سالبة الشحنة. ستظل الذرات متعادلة وستبدو المادة

المتكتلة بالضبط بمثل ما تبدو عليه في العالم الواقعي. ولو كنا مصنوعين من «ضديد المادة» هذا، فستكون الفيزياء مطابقة لما هي عليه في الواقع حيث نكون مصنوعين من المادة.

ولا بد أن حرارة الانفجار الكبير قد صنعت الجسيمات وضديدات الجسيمات بكميات متساوية، ويمكننا حتى أن نعيد إنتاج هذه العمليات في المعمل وأن نصورها ضوئيا. والمادة وضديد المادة يفني أحدهما الآخر عندما يلتقيان، إلا أنه قد حدث على نحو ما أن بقي فائض من المادة بعد هذا اللقاء الجائح. وهذا الفائض هو ما يكون الكون المرئي.

ولو كان ضديد المادة موجودا بقدر كبير فلا بد أن هناك سطحا بينيا Interface يفصل بين مناطق الكون المصنوعة من المادة وتلك المصنوعة من ضديد المادة. وسيحدث عند هذا السطح البيني إبادات عنيفة تدور باستمرار وتفجرات شديدة من أشعة جاما التي تنبعث نتيجة لذلك. وما كان علماء الفلك ليفشلوا في رؤية تلك الأمور، ولكن أحدا لم يعثر على أي شيء منها. ويبدو أننا آمنون على الأقل من التعرض لهذا النوع من أنواع الإبادة (بالمعنى الحرفي). وليس مما هو محتمل أن تتساقط قطع من ضديد المادة كالمطر في السماوات، لتطهو الأرض في أشعة جاما.

أما هنا على الأرض فإن صنع عدد كبير من ضديدات الجسيمات هو عمل يستغرق وقتا طويلا. فبعد عمل استغرق عدة سنوات بالمركز الأوروبي للبحوث النووية في جنيف، وهو المركز الأول في العالم لصنع ضديدات الجسيمات، أمكن للعلماء أن يصنعوا ما يقل عن جزء من البليون من الجرام. وهكذا فإن صنع قدر كاف لقنبلة واحدة من ضديد المادة سوف يستغرق آلافا عديدة من السنين هذا إذا افترضنا أننا سوف نستطيع حفظ ضديد المادة لهذا الزمن الطويل في بيئة معادية من المادة التي تحيط في كل مكان بضديدها. ومن ثم فإنه يمكننا أن نسقط بكل اطمئنان من حسابنا قصص وسائل الإعلام عن قنابل ضديد المادة، أو ما يسمونه «الأسلحة النهائية».

تقترح النظريات الحديثة إجابة عن ذلك. فقد لاحظ الفيزيائيون خلال دراستهم لسلوك الجسيمات تحت الذرية أن بعض الجسيمات المعروفة «بالكاونات» Kaons تميز فيما يبدو بين المادة وضديدها، فكاونات المادة وكاونات ضديد المادة تتصرف تصرفات فيها اختلاف بسيط. وفهمنا لهذا

يطرح فكرة أنه تم أثناء الانفجار الكبير ضم بروتونات المادة معا بأسرع قليلا من صورها الضديدة للمادة-أي ضديدات البروتونات، وأدى هذا إلى فائض صاف الآن-فالمجرات المصنوعة من المادة هي ما تخلف من قدر «ضئيل» من عدم التوازن بين الجسيمات وضديدات الجسيمات. ولا بد أن الانفجار الكبير كان ضخما إلى حد يفوق التصور!

والمعنى المتضمن في هذه النظرية هو أنه إذا كانت البروتونات قد «ضمت معا» على هذا النحو فإنها يمكنها أيضا أن تنفصل عن بعضها البعض وبهذا تكون البروتونات غير مستقرة.

والآن، حيث إن نوى كل ذرة في أجسادنا تحوي بروتونات، فربما أصابك العجب من كيفية بقائنا ها هنا حتى الآن. والإجابة هي أن البروتونات مستقرة «تقريبا»، ويمكن تقدير عمر النصف بالنسبة لها بما يقرب من 10 سنة. وهذا يعني أنه إذا كان لديك مجموعة كبيرة من البروتونات، فإن نصفها سوف يتم اضمحلالها بعد أن ينفي هذا القدر من الزمان. ولما كان الكون موجودا هنا منذ 10 سنة فحسب-أي مجرد جزء من عشرة آلاف من بليون البليون من عمر النصف للبروتون-فإن معظم البروتونات لا تزال حية وفي أحسن حال.

وحتى مع هذا الاستقرار المذهل فإن الفيزيائيين مازالوا يأملون في أن يتمكنوا من اختبار هذه النظرية وأن تقع أعينهم على ذلك البروتون النادر الذي يموت قبل أوانه. إن حمام السباحة الكبير المليء بالمياه يوجد فيه عدد كبير من البروتونات-ما يزيد على 10- بحيث إنه يمكن من الوجهة الإحصائية أن يضمحل فيه برتون واحد أو اثنان في العام الواحد. وقد بنى الفيزيائيون خزانات هائلة للمياه وأحاطوها بالكشافات على أمل الكشف عن وميض الضوء الذي يحدث عندما يموت أحد البروتونات. وقد وضعت هذه الخزانات تحت الأرض بعيدا عن أي تأثيرات شاردة، مثل ذلك المطر الدائم من الجسيمات الذرية التي تصدم طبقات الجو العليا للأرض ويمكن أن تحاكي وميض بروتون يضمحل. وثمة بعض إشارات محيرة ولكن ما من دليل واضح بعد.

وإذا تم للفيزيائيين الكشف بصورة مؤكدة عن بروتون يضمحل فإنهم سيكونون قد حصلوا على أول إشارة على أن المادة تتآكل، وبالتالي يكونون

قد رأوا أول لمحة من الكون وهو يموت. وأنت أثناء القرن الذي ربما تستغرقه حياتك قد يضمحل في جسدك بروتون أو بروتونان، ولكنك لن تلحظ ذلك. على أن هذا التآكل لبذور المادة سيصبح ملحوظا أكثر في أعماق المستقبل. فهو بمنزلة سرطان يظل يلتهم وئيدا نسيج الكون.

وإذا كان هناك قدر كاف من الكتلة فيما حولنا فإن الكون سوف يصبح أبطأ حركة ثم يتقلص بتأثير وزنه هو نفسه. وأي من هذه الاحتمالات له نتائجه بالنسبة لاحتمالات بقائنا نحن. فالتقلص في إعادة ساخنة للانفجار الكبير، ولكن في الاتجاه المعاكس، هو احتمال مروع. أما التمدد البارد حتى الأبدية مع تآكل مكونات المادة فإنه يبدو مصيرا كئيبا، ولكنه قد يكون مما يمكن البقاء بعده!

الطريق إلى الأبدية

إذا كان الكون مفتوحا، أو حتى إذا كان منغلقا ويعيش زمنا طويلا قبل أن يبدأ تقلصه، فإن زوال المادة في النهاية هو أمر أكيد. وحتى لو كانت البروتونات مستقرة على مدى زمني يبلغ 32 سنة فإنها في النهاية ستضمحل بفضل تدخل ميكانيكا الكم. فنظرية الكم تعني ضمنا أنك لو انتظرت زمنا كافيا فإن أي شيء يمكن أن يحدث. وفي حالة البروتون فإنها تدل ضمنا على أنه يحدث مرة كل فترة طويلة جدا أن يشكل أحد البروتونات تلقائيا ثقبا أسود ويختفي. وهذه الفترات الطويلة جدا تحدث في المتوسط كل 10 سنة، وبالقياس بالأبدية فإنها فترة زمنية ضئيلة.

ولما كان من المؤكد أن المادة ستضمحل، فسيكون علينا أن نغير شكلنا إن كان لنا أن نبقى. فالمادة التي تكون الحياة كما نعرفها ستفنى كلها ولن يتبقى منها شيء لتتسل منه الأخيال اللاحقة. وأحد الاحتمالات هو أن نكتشف طريقة لوقف العملية أو لعكسها. ولما كان هذا يتطلب أن نكتشف قوانين هي حتى الآن مجهولة لنا، فإننا لا نملك الآن أي فكرة عما إذا كان هذا ممكنا من حيث المبدأ، وبالتالي يكون من الواقعي أن نتفكر في هذا الأمر هنا.

لقد تأتت هذه التبصرات نتيجة لتجارب عنيت بالحرارة القصوى التي سادت في الانفجار الكبير. ومن دواعي السخرية أن وصف اللحظات الأخيرة

للكون يتطلب فهما متزايدا للعمليات الفيزيائية التي حكمت نشأته. والجاذبية، أي إطار المكان والزمان، هي التي تحكمت منذ البداية، وهي التي ستتدخل عندما يزول كل شيء سواها.

في اللحظات الأولى أنتجت الحرارة بلازما من الكواركات سرعان ما تجمعت في بروتونات ونيوترونات شكلت نوى الذرات عندما بردت الحرارة فأصبحت مجرد بليون من الدرجات. وهذه الظروف مازالت موجودة في النجوم وقد أصبح توفيرها ممكنا منذ سنوات عديدة في التجارب التي تجرى في معامل معجلات الجسيمات.

وقد مكنتنا هذه التجارب من دراسة الفيزياء النووية وأن نعرف الكثير عن ديناميكا النجوم.

وهذا التعايش بالتكافل بين الفيزياء النووية في المعمل وتحقيقها الطبيعي في النجوم هو الخطوة الأولى في توحيد العلوم الميكروسكوبية والماكروسكوبية(*)، هذا التوحيد الذي بلغ حاليا أوج نشاطه.

وتعمل الطبيعة على المستوى الميكروسكوبب وتحقق أهدافها بأن تبني بنيات ماكروسكوبية تنفذ فيها مخططها. وفي النطاق البشري تعمل الحياة على مستوى الخلايا، وتعمل كيمياء الحمض النووي D.N.A داخل «عائل» على مستوى ماكروسكوب، فلسنا سوى جزئيات ضخمة بالغة التعقيد، والنجوم هي تجمعات من جسيمات منفردة من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات تحقق تحولاتها الفردية المشعة. والكون الماكروسكوبي بأسره يتشكل ويعمل في واقع الأمر من خلال تفاعلات وقوانين أساسية جميلة على المستوى الذري، بل وما وراءه. وكان سبر غور هذه التفاعلات والقوانين أكثر كلما زاد ثراء وعينا باحتمالات استثمار ذلك.

إننا نعرف عن أساليب تطور النجوم ما يكفي لأن نكون واثقين من أنها ستعيش فحسب وجودا سريع الزوال في كون باق أبدا. والكون يبلغ عمره حتى الآن 20 بليون سنة. وفي عشرين بليون سنة أخرى ستكون بعض النجوم الجديدة قد ولدت-هناك نجوم كثيرة يتم اندماجها في الوقت الراهن في برج «حزام الجبار» بينما ستموت نجوم أخرى. والنجوم التي مثل شمسنا

(*) العلوم الميكروسكوبية أو المجهرية هي التي تدرس الجسيمات الصغيرة بينما تدرس العلوم الماكروسكوبية الأجسام التي ترى بالعين المجردة.

سوف تستنفد ذخيرتها من الوقود الهيدروجيني بعد خمسة بلايين عام أخرى.

ومما يهمنا كسكان لهذا الكوكب أن الشمس سوف تنكمش عندها، فتزيد سخونة وتتمدد إلى عملاق أحمر يبخر الكواكب الداخلية والريح التي ستنطلق من ذلك سوف تبخر الكواكب الخارجية. وصورة السديم الكواكبي في برج القيثارة تبين لنا ما سوف يتبقى منا.

ومن المأمول أننا سنكون في ذلك الوقت قد استعمرنا معظومة كواكبية أكثر سلامة لنا، يتم إمدادها بالوقود من نجم من التتالي الرئيسي. ولكن فلنذكر مرة أخرى بأن هذه القصة لن تتحقق إلا بعد مرور بضة بلايين أخرى من السنين.

ومشاريع الترحال البدوية هذه يمكن أن تظل مستمرة لمدة لعلها تصل إلى 50 بليون سنة، إذ يصل نجم «جديد» بعد الآخر إلى نهايته في التتالي الرئيسي. إلا أنه سيبدأ ظهور تغير حقيقي بعد مائة بليون سنة. وعندها ينبغي أن يترك الميدان أولئك الذين هم مرضى برهاب الخلاء. فالكون سيكون وقتها قد تمدد كثيرا حتى أصبحت المجرات متباعدة أقص التباعد. وسيصبح شيئا لا يكاد يرى حتى مع استخدام أكبر التليسكوبات. كما أن محتويات هذه المجرات يصيبها التغير. فالنجوم تحترق لتفنى ولا يبقى شيء ليحل محلها. ويستنفد كل نجم وقوده الاندماجي ويتقلص بتأثير وزنه هو نفسه، ليصبح كرة باردة مظلمة، أو نارا خمدت.

أما نجوم النيوترون-أي بقايا الشموس الأثقل-فستكون نادرة نوعا، وأكثرها شيوعا هي بقايا النجوم الصغيرة-أي الأقزام البيضاء-وهي كرات من إلكترونات ونوى مستهلكة في حجم أرضنا الحالية. وهناك أيضا الثقوب السوداء؛ وهي أندر الكل، ولكنها ستفوق كثير(ما هو موجود الآن. ولعل المدنيات المتقدمة سوف تلعب لعبة الروليت الروسي[*1] بأن تعيش على حافة ثقب أسود وتستقي طاقتها منه.

وسوف تظل بعض المنظومات الكواكبية باقية. وتستطيع البقايا المتفحمة

(*1) الروليت الروسى لعبة رهان انتحارية، فتوضع رصاصة واحدة في ساقية مسدس طبنجة ويتبارى المتراهنون بان يطلق كل لاعب المسدس على رأسه، فيموت من يتصادف أن توجد الطلقة في الخانة التي يطلقها على نفسه (المترجم).

للكواكب الخارجية أن تظل باقية رغم تفجرات العمالقة الحمر. ويعتمد الأمر كثيرا على ما تتكون منه المنظومة الكواكبية، وعلى حجم الكواكب ومسافة بعدها عن شمسها.

ولو انتظرت زمنا كافيا فعندها ستصبح حتى الأحداث غير المحتملة أمرا أكيدا. فسوف تمر النجوم الميتة أحدها بالآخر على مسافة جد قريبة بحيث تفشل في الاستمساك بكواكبها. وسوف تنفصل هذه الكواكب وتنجرف بعيدا لتنطلق حرة خلال الفراغ. بل إن المجرات سوف تتمزق بددا إذ تصطدم. ومرة أخرى فإن هذا أمر نادر إلى أقصى درجة، ولكننا لدينا الوقت كل الوقت في هذا الكون.

سوف يتبخر من المجرات ما يقرب من 90-99 في المائة من النجوم مخلفة رشاشا متجانسا من فتات أو قطع فيما حول الكون. أما نسبة (1-10 في المائة) الباقية من النجوم فإنها سوف تنشد إلى الداخل وتتجمع في مراكز المجرات، مشكلة ثقوبا سوداء عملاقة. وهذا ما ستبدو عليه الأمور بعد 10 سنة-وهو زمن أطول 1000 مليون مرة من الزمن الممتد من الانفجار الكبير حتى الآن. وعند هذا المدى من الزمان ستبرد نجوم النيوترون لتصبح درجة حرارتها فوق الصفر المطلق بمائة درجة فحسب، أي أن حرارتها ستكون-173 درجة مئوية. وإذا كانت هناك أي كواكب تدور في فلكها فإنها ستشع موجات جذبية وتتحلل بعد 10 سنة.

أما إشعاع الخلفية الميكروويفي فستكون درجة حرارته فوق الصفر في حدود جزء من عشرة آلاف من البليون من الدرجة المئوية. ويكون الكون خلاء شاسعا من لا شيء. فليس من مجرات وإنما توجد نجوم فحسب. نجوم موحشة ليس لها كواكب. فما كانت ذات يوم كواكب سيارة تصبح الآن أجداثا ميتة تقذف بها الجاذبية بعيدا، لتهيم بصورة عشوائية. هائمون موتى ومشردون بلا هدف في الفراغ. فما الذي تبقى هناك للكون؟

يبدأ ظهور البروتونات المضمحلة بعدد قليل. ويضمحل منها عدد كاف منتجا إشعاعا تمده بالقليل الضئيل من «الدفء»-كسر من درجة الحرارة يعلو ذلك البرد الأقصى-ومن الممكن أن تظل الحرارة السائدة في البيئة عند هذا المستوى الضئيل لمدة 10 سنة أخرى. وهكذا سيكون هناك قدر من الدفء المحلي يمكن لأفراد سلالتنا أن يستغلوه. ويكون تركيب الكون هو 90

في المائة نجوما ميتة، و 9 في المائة ثقوبا سوداء، وواحد في المائة هيدروجين وهليوم ذريين.

ثم يستمر اضمحلال البروتونات بكل جدية مما ينتج عنه موت كيانات بأسرها. وإذ يضمحل الكربون فإنه سرعان ما تفنى كل أشكال الحياة المؤسسة على الكربون: فحتى الماسات لن تدوم للأبد!

ومدى الزمان حتى ذلك العهد مقارنا بزماننا الحالي يكون بمثل مقارنة عمر الكون الحالي بنبضة قلب واحدة.

وعندما يحل ذلك الوقت سيكون على أفراد سلالتنا أن يتغيروا إلى أشكال أخرى. فمع اضمحلال البروتونات يموت الكربون هو وكل المادة الأخرى التي تصنع الجنس البشري Home Sapeins. وحيث إننا لا نعود بعد في إسار المواد المختارة للطبيعة، فإنه يجب علينا أن نستغل القوانين الطبيعية لصناعة أشكال جديدة ولاستخدام ما يتبقى من القديم. ويسوف يتم استخدام الاكتشافات التي تمت في فيزياء الجسيمات؛ وربما انبثقت فرص جديدة إذ يتم تغيير النسيج نفسه الذي يصنع منه الكون.

وإذا لم نتمكن من صنع أشكال جديدة من المادة، فإن النتيجة النهائية لاضمحلال البروتونات ستكون كونا يحوي إلكترونات وبوزيترونات وجسيمات نيوترينو وفوتونات. وستكون هذه الجسيمات هي صندوق أدواتنا الأساسي الذي نستخدمه للبقاء. ولفريمان ديسمون بعض الأفكار البارعة حول استمرار الحياة والمعلومات حتى في هذه الظروف المتطرفة (انظر الفصل الثالث عشر).

وستكون المسافة ما بين كل إلكترون وبوزيترون أعظم من القطر الحالي لدرب التبانة. إذ سيكون الكون أكبر مما هو عليه الآن بمائة مليون تريليون مرة (10^2)، وحتى هذا ليس هو النهاية.

وحسب ما يقول عالم الفيزياء ستيفن هوكنج، فإن الثقوب السوداء ليست سوداء بالكلية وإنما هي تشع طاقة ومادة. وقد يمدنا هذا بما يلزمنا من ماديات لو عشنا بالقرب من حرف ثقب أسود-فلو ألقينا بنفاياتنا في الثقب فإنه سيجزينا عنها بالطاقة والمادة. وهكذا فربما لا تزال أمامنا بعد فرص غريبة. وفي النهاية فإنه حتى أكبر الثقوب السوداء في التجمعات الفائقة سوف يصيبها التبخر حسب عملية هوكنج وسوف تضمحل أيضا

البروتونات الجديدة التي يتم إنتاجها هكذا.

وقد حسب أحدهم أننا لو بقينا بعد هذا كله، فإن أفراد سلالتنا (إن كان لهم وجود) سوف يلاقون سلالات أخرى نشأت مستقلة على كوكب بعيد. وسيكون هذا بعد 10 سنة. فكيف لنا أن نتأمل في فترات زمنية على مثل هذا المدى من البعد؟ لو كان هناك مخلوقات مازالت باقية وقتها، هل سيكون «الآن» له أي معنى بالنسبة لهم؟ هل سيظل بتهوفن وموزار وباخ رموزا في رسالة لها معنى في هذا المستقبل البعيد؟على أن ذلك أمر يقع على بعد زمني أطول كثيرا من أن يكون له أهمية سوى الأهمية الفكرية. لكن النظريات الحديثة تطرح مخاطر بشأن تكوين المادة يمكن أن تهددنا الآن أو خلال سنوات معدودة.

أغرب من روايات الخيال العلمي

تبحث الطبيعة دائما عن أكثر الأشكال استقرارا: فالماء ينساب لأسفل، وبعض الذرات تبث نشاطا إشعاعيا لتصل إلى أشكال أكثر استقرارا. ونحن قد صنعنا من أكثر المواد استقرارا فيما حولنا-ذرات إلكتروناتها تحيط بنواة ذات شحنة إيجابية مصنوعة من نيوترونات وبروتونات.

ورغم أن تلك هي أكثر المواد استقرارا فيما حولنا هنا على الأرض فإنها قد لا تكون أكثرها استقرارا في كل مكان. وبعض المنظرين من العلماء يشكون في أنه ربما توجد «مادة غريبة» يمكنها أن تسبب بدء انهيار المادة العادية لو أنها وصلت إلى أن تلامسنا.

إن هناك قوة جذب شديدة تمسك بالنيوترونات والبروتونات، فتبنى تلك النوى التي هي في القلب من الذرات بناء محكما. ونواة أبسط العناصر، أي الهيدروجين، تتكون من بروتون وحيد، بينما يتجمع ما يصل إلى 250 نيوترونا وبروتونا لتشكل نواة أثقل العناصر.

وتحمل البروتونات شحنة إيجابية، وهكذا فإن كلا منها يتنافر مع الآخر تنافرا متبادلا، بما يسبب عدم استقرار النواة. والنيوترونات كما يدل اسمها متعادلة، ولا تمارس هذا الإيقاع في الفوضى، وهي تتكتل بسهولة أكبر. وتستطيع كميات ضخمة من النيوترونات أن تتكتل معا لتشكل نجوم نيوترون، وهي بمنزلة نوى عملاقة تتكون من 10 نيوترون. وهتاك شكلان معروفان

للمادة النووية: تجمعات تصل إلى 250 من النيوترونات والبروتونات أو ما يقارب هذا العدد، مشكلة عناصر الجدول الدوري، ثم هناك التجمعات العملاقة التي تشكل نجوم النيوترون. وقد ظللنا طيلة عقود من السنين ونحن نعتقد أن كل المادة التي في الكون هي من هذا النوع أو من الآخر. وقد تكون نجوم النيوترون شيئا غريبا بالنظر إلى الظروف الهادئة نسبيا فيما حول هذا الجزء من المجرة، ولكنها مصنوعة من المادة نفسها التي صنعنا منها نحن في صميمنا.

أما «المادة الغريبة» التي تثير انفعال العلماء المنظرين فهي أمر مختلف تماما. ولفهم أصل الفكرة علينا أن نرجع إلى عام 1947 حينما وصلت أول إشارات للأرض على أن في الكون أنواعا من المادة أكثر مما رأيناه حتى ذلك الوقت على الأرض.

على بعد 10 أميال فوق رؤوسنا تتعرض طبقات الجو الخارجية لقذف مستمر بالفوتونات والجسيمات تحت الذرية. وتغطي الفوتونات كل الطيف الخاص بالإشعاع الكهرومغناطيسي، ابتداء من موجات الراديو ومرورا بالضوء المرئي ووصولا إلى أشعة جاما. ومعظم الجسيمات الأخرى هي نوى ذرية. وهذه يتم إنتاجها في نجوم بعيدة، ويتم تعجيلها بالمجالات المغناطيسية في الفضاء، وتصطدم عنيفا في الجو بطاقة مقدارها ملايين المرات من الطاقة المنطلقة من المصادر المشعة.

بعد نهاية الحرب العالمية الثانية، كانت هناك حاجة ملحة إلى فهم تركيب نوى الذرات. وكانت الأشعة الكونية أداة مثالية للوصول إلى هذا المطلب: فهي تستطيع أن تمزق النوى إلى شظايا بل وأن تترك حتى في الصور الضوئية سجلا دائما لما يحدث. وأخذ كثير من العلماء يصعدون الجبال أو يرسلون أفلام التصوير في بالونات لتسجيل الأشعات الآتية من خارج الأرض. وعندما تمر الأشعة الكونية من خلال غرفة صغيرة مملوءة بهواء فوق المشبع (وهي تسمى بغرفة السحاب لأسباب واضحة)، فإنها تخلف ذيلا من القطرات يشبه الذيل الذي تخلفه الطائرات الحديثة التي تطير عاليا. ويمكن للكاميرا أن تسجل هذه الذيول للأجيال القادمة. وهناك طريقة أكثر مباشرة وهي إرسال صفحات من مستحلب التصوير عاليا في بالونات وإذا مزق شعاع كوني إحدى نويات ذرات البروتين التي في المستحلب

فإنها ستلتقط صورة لنفسها بالمعنى الحرفي للكلمة، وتظهر هذه الصورة عند تحميض المستحلب. وكنتيجة لمئات كثيرة من مثل هذه الصور تكشف تركيب المادة على نحو لم يحدث من قبل.

وذات يوم من عام 1947 اكتشف كلود بتلر وجورج روشستر، من جامعة مانشستر، ذيلا في إحدى الصور الضوئية يختلف عن أي شيء سبقت لهما رؤيته. والآن أصبحنا نحن نعرف أن ذلك كان أول مثال مسجل «لجسيم غريب» ليس له أي نظير على الأرض. فذراتنا تتكون من إلكترونات تدور في دوامة من حول نواة تحوي نيوترونات وبروتونات، والجسيمات الغريبة تشبه النيوترونات والبروتونات، ولكنها أثقل نوعا وهي غير مستقرة بطبيعتها.

وقد تبدت هذه اللمحة عن أشكال من المادة تتجاوز ما نعرف في الوقت نفسه تماما الذي كان علماء الفيزياء النووية يبنون فيه أول الآلات الهائلة التي «تسحق الذرة»، وهي آلات تعجل الجسيمات تحت الذرية، مثل البروتونات، لتصل سرعتها إلى سرعة تقارب سرعة الضوء، ويمكن لهذه الآلات أن تحدث تأثيرات مماثلة لتأثيرات الأشعة الكونية. وعندما تصطدم هذه الجسيمات التي تتحرك سريعا بنوى ذرية في مسارها، يتدفق للخارج زخم هائل من الجسيمات. ويتضمن هذا الزخم جسيمات غريبة تشكلت مادتها من طاقة الاصطدام (هنا تمارس معادلة أينشتين الحاضرة دائما: الطاقة = الكتلة X مربع سرعة الضوء $E=MC^2$، عملها مرة أخرى).

إن الأشعة الكونية الواسعة الانتشار لم ينتج عنها سوى حفنة ضئيلة من الأمثلة للجسيمات الغريبة، أما الاصطدامات المكثفة التي تحدث في المعجلات فقد أنتجتها بالآلاف. وسرعان ما أصبحت الجسيمات الغريبة مألوفة مثل الجسيمات التقليدية كالإلكترونات والكواركات التي تصنع المادة فيما حولنا وداخلنا.

والجسيمات الغريبة مصنوعة أيضا من الكواركات، ولكنها تحوي نوعا من الكواركات يسمى الكوارك الغريب، وهو لا يوجد في البروتونات والنيوترونات الموجودة في نوى ذراتنا. ولكن لماذا يتعين ألا تكون الطبيعة قانعة بالحد الأدنى من الغذاء الذي يصنع المادة المستقرة التي يبدو أن الأرض والنجوم سعيدة بها أيما سعادة، ذلك سؤال لا نعرف له إجابة حتى الآن. على أنه كان السبب، فما من شك في أن الطبيعة تستطيع أن تستخدم

الكواركات الغريبة، وهي تستخدمها بالفعل، في بناء جسيمات غريبة وتجمعات، حسبما يخس المنظرون من العلماء تسمى «المادة الغريبة».

والجسيمات الغريبة المفردة أثقل من النيوترونات المفردة وتنزع إلى ألا تعيش طويلا جدا، إذ تتحلل إلى تلك البذور الأخف والأكثر استقرارا التي في نوى ذراتنا. على أن المعادلات التي تصف الكواركات الغريبة تشير إلى أن التجمعات التي تحوي أعدادا كبيرة منها ربما تكون، على نحو ينطوي على المفارقة، أخف وأكثر استقرارا من الحديد-وهو أكثر نوى الذرات المعروفة استقرارا، فهذه «المادة الغريبة» يمكن أن تكون أكثر أشكال المادة المتكتلة استقرارا وهي بذلك قد تسبب تغير نوى ذراتنا إلى الشكل الغريب لو أنها لاقتها!

لقد فهمنا بصورة أفضل، عندما عثرنا على الكواركات التي هي بذور الجسيمات النووية ونوى الذرات، السبب في أن نويات معينة لها وجود بينما هناك نوى أخرى لا وجود لها، كما أمكننا أن نتوقع وجود أشكال من النوى لم تتم رؤيتها بعد. ومن المحتمل أن تكون هناك في مكان بعيد في الفضاء نجوم عجيبة تتضغط فيها البروتونات في بلازما هائلة من الكواركات حيث لا يمكن تمييز نيوترونات منفردة. وما من أحد على ثقة من أن هذا يحدث أو لا يحدث؛ فمازالت أمور كثيرة تجري «هناك في الخارج» ولا نعلم عنها شيئا.

وإذا كانت المادة الغريبة موجودة فعلا، فإن ثمة إجماعا في الرأي بين العلماء على أن الإلكترونات التي تحيط بالنوى الغريبة ستحمي نوى ذراتنا من الشكل الغريب. وبالتالي فإن من الممكن أن تنجو ذراتنا هي والذرات الغريبة مع حدوث تفاعلات كيميائية «غير ضارة» تشمل الإلكترونات التي في الأطراف، وبهذا يمكن تجنب كارثة أن يتبدل ما عندنا من نوى بتلامسها المباشر مع تلك الشذرات الغريبة. وسيتوقف أي شيء يعتدي علينا من الفضاء الخارجي عند قشرة الأرض إذا كان وزنه أقل من جزء من البليون من الجرام، أما إذا زاد على جزء من عشرة من الجرام فسيخترق الأرض مباشرة.

وبعض النظريات عن الكون المبكر ترى أن جزءا كبيرا من كتلة الكون ظل باقيا في شكل شذرات من المادة الغريبة بأحجام تتفاوت ما بين فتات

الخبز والبرتقال. وتلك مادة نووية مركزة، كما في نجوم النيوترون، ويزن ملء الكستبان منها أطنانا كثيرة. وهي مادة غير مضيئة، ليست من مادة النجوم العادية، ومن الممكن أن تكون مسؤولة عن جانب من الكتلة المظلمة المفقودة للكون ولدرب التبانة. ويطرح بعض علماء الفيزياء الفلكية فكرة أن بعض أمثلة مما نسميه نجوم النيوترون ربما تتكون في الحقيقة من مادة الكوارك الغريبة. وعندما تصطدم نجوم من هذا النوع، أو ربما عندما ينفجر سوبرنوفا، فإن قطعا من المادة الغريبة قد يقذف بها لتلوث الكون.

وسوف تسطع المادة الغريبة التي تصطدم بجونا الخارجي مثل نجم منطلق ولكن مع بعض الاختلافات التي تمكن من تمييزها عن الشهب التقليدية. وأكثر اختلاف ملحوظ هو سرعتها، فهي أسرع كثيرا من الشهب.

والشهب قطع من الحصى تدور حول الشمس، وهي رفيقة سفر في المنظومة الشمسية وتتحرك نحونا بسرعة مشابهة-أي نحو 20 ميلا في الثانية. وأي شيء يتحرك بأسرع من ذلك سيهرب من قبضة الشمس مثل السيارة عندما تفشل في اتخاذ منحنى. ولو ارتطمنا بواحد من الشهب اصطدام مواجهة مباشرة، مثلما يصطدم قطاران يسيران في اتجاهين متضادين على القضبان نفسها، فإن صافي سرعة الاقتراب سيكون 40 ميلا في الثانية.

وربما أدى الشد الإضافي لجاذبية الأرض إلى زيادة سرعة الصخرة إلى خمسين ميلا في الثانية ولكن ليس إلى ما هو أكثر من ذلك؛ وتلك هي أقصى سرعة اقتراب لشهاب تقليدي. أما المادة الغريبة فتأتي، خلافا لذلك، من كل أنحاء المجرة، وهي تتحرك بسرعة أكبر كثيرا من ذلك. ونحن جميعا ندور حول مركز المجرة بسرعة تقارب 150 ميلا في الثانية. والمادة الغريبة التي هي جزء من المجرة، ولكنها ليست في إسار الشمس، ستنتقل أيضا بهذا المعدل من السرعة.

وهي إذ تصل بطاقة عالية هكذا فإنها تصل إلى طبقات الجو السفلي الكثيفة قبل أن تسطع. فهي تومض عند ارتفاع يقل عن عشرة أميال، بخلاف الشهب التي تحترق على ارتفاع أعلى من 50 ميلا. ولما كانت المادة الغريبة أقل ارتفاعا وأسرع من الشهب، فإن سرعتها الزاوية تكون أعظم كثيرا.

والكثير منها يسقط على الأرض مشابها للنيازك، وحسب أحد التقديرات فإن من الممكن أن يرتطم على الأرض سنويا قدر يصل إلى ألف طن. وإذا كان هناك قدر كهذا يحط على الأرض فإنه يمكننا أن نجد بعض الدلائل على هذه «النوازك» Nuclearites[(2*)]، وذلك هو الاسم الذي تعرف به حتى يتم تمييزها عن النيازك العادية.

وهذه الذرات من المادة الغريبة أكثر كثافة وانضغاطا عن المادة العادية. وهي عندما تمر خلال الصخور فإنها قد تحفر فيها مسارا إذ يحدث ارتداد في نوى الصخر. ومن الممكن أن تكون هناك آثار حفريات للنوازك التي اعتدت على الأرض عبر العصور. وجرام واحد من النوازك قد يترك أثرا قطره جزء من عشرة من المليمتر. والنوازك التي تزن طنا واحدا (وهذه لا تزال أصغر من رأس الدبوس!) ستمر خلال الأرض فيما يقل عن دقيقة، مسببة زلازل خطية-epi Linear تكون إشاراتها السيزمية مختلفة تماما عن إشارات الزلزال النقطي الطبيعي أو الانفجار النووي-الحراري تحت الأرض. ولعل هناك أدلة على زلازل خطية كبيرة ذات حجم أكبر من 5 مازالت تنتظر أن يتم «اكتشافها» فيما هو موجود من معطيات سيزمية. ويطرح بعض المنظرين أن اصطداما كهذا يمكن أن يحدث في المتوسط مرة كل سنة.

وإذا مر النيزك خلال مياه فإنه يشع ضوءا. وإذا ارتطم أي من النوازك بالمحيط فإنه يمكن أن يفيء للحظات حياة الأسماك في أعماق البحار، ولكن فرصة أن يرى أفراد من البشر أي ومضات في الماء هي فرصة مختلفة نوعا. وتجارب ما تحت الأرض التي تجري بحثا عن دليل على البروتونات المضمحلة تستخدم فيها حمامات سباحة ضخمة فيها مياه وأنابيب ضوئية لتكشف عن ومضات الضوء. وإذا كانت هذه التجارب محظوظة فإنها ربما تقع بالمصادفة على نوزك مار بالإضافة إلى (أو بدلا من) الهدف الذي صممت له أصلا! أما علماء فيزياء الجسيمات الذين يعملون على المعجلات فهم يبحثون لديها عن دليل على النوى الغريبة الصغيرة.

على أن نظرية سلوك الكواركات لا تزال تفتقر إلى التماسك، وليس من

(*2) النوازك كلمة مأخوذة من كلمتي النوى والنيازك. (المترجم)

المؤكد ما إذا كان فيها ما يدل على وجود المادة الغريبة أو عدم وجودها. لكنها جعلتنا واعين بأن الاستقرار الذي نلاحظه في النوى المألوفة، مثل نوى الحديد والكربون والأكسجين وما إلى ذلك، لا يدل بالضرورة على أننا قد صنعنا من أكثر أشكال المادة استقرارا. فالنشاط الإشعاعي يمكن أن يغير ذراتنا إلى أكثر غريبة، ولكن ببطء شديد جدا. والتحول من 56 نيوترونا وبروتونا تتكون منها نواة الحديد (أكثر النوى استقرارا) إلى نواة مادة غريبة يستغرق زمنا أطول من عمر الكون. وعلى ذلك فنحن آمنون حاليا هنا على الأرض. على أن الأمر سيكون نكتة غريبة لو كانت أكثر حالات الطبيعة استقرارا غير متحققة في مكان ما. ولو وصل منها إلى الأرض ذات يوم كميات كبيرة فماذا سيحدث بعدها...؟

12 ما وراء البعد الخامس

شمال وشرق وأعلى: إننا محصورون في قبضة كون من ثلاثة أبعاد يتطور في بعد «الزمان» الرابع. وقد ألفنا ذلك حتى أنه أصبح من الصعب أن نتصور الأمور على غير ذلك. فكيف يكون شكل كون من خمسة أو ستة أبعاد؟ بل هل يمكن أصلا تعقل كون كهذا وهل يمكن أن يكون قابلا للتصور والتأمل فيه؟

إن رد فعلنا المباشر هو أن نقول إنه من قبيل اللغو الواضح أن نتخيل أبعادا أكثر. وأيا كان الأمر، فأين يمكنك أن «تضعها»! فكل الاتجاهات الممكنة قد «استنفدت» بالفعل.

ولا شك أن كل الأبعاد التي يمكننا تخيلها بسهولة قد استنفدت، على أن هذا قد يكون حكما على قصور قدرتنا على التخيل بدلا من أن يكون حكما على طبيعة الكون. هب أننا «رجال مسطحون»- مخلوقات من بعدين نعيش على سطح مسطح ولا نعي إلا السطح الذي نتحرك «فيه» طوال الوقت فيما حولنا. سيكون هذا هو مدى كوننا، ولن تكون فكرة «الارتفاع» واردة في قاموسنا. ثم يسأل شخص ما سؤالا سخيفا: «هل يمكن أن يكون هناك بعد ثالث؟» ونحن بوعينا الأكبر يمكننا أن نتخيل

«الارتفاع»، وهكذا فإننا قد ندهش للصعوبة التي يعانيها الرجال المسطحون في القيام بوثبة عقلية خارج ما هو مسطح. وقد نكون «نحن» بدورنا غير واعين بوجود أبعاد إضافية، ولنسمها «ما وراء» أو «في الداخل».

إن أي نظرية نهائية عن الكون ينبغي أن تجيب عن السؤال عما هو «سحري» بشأن عدد الأبعاد التي نجد أنفسنا فيها. إنه واحد من أبسط ما يمكن طرحه من أسئلة، ولكن الأسئلة الأكثر بساطة عادة ما تكون الأسئلة الأكثر عمقا والأكثر صعوبة في الإجابة عنها. وليس من الواضح على الإطلاق كيف يمكنك أن تبدأ في الإجابة عن هذا السؤال إجابة علمية.

على أن مثار الانفعال في الفيزياء النظرية يتركز في الوقت الراهن في نظرية تصدر أحكاما عميقة بشأن المادة التي نسج منها الكون. وهذه النظرية اسمها الرمزي هو «الأوتار الفائقة»، وهي تقضي بأنه في وقت الانفجار الكبير كان هناك «عشرة أبعاد». وثمة ستة من تلك الأبعاد أصبحت مخفية عن حواسنا الفجة، ولكنها تترك علاماتها بما ينشأ عنها من كهرباء، ونشاط إشعاعي نووي، وما يتعلق بذلك من ظواهر، ومن النتائج الأخرى البارزة المترتبة على هذه النظرية أنها قد تدل ضمنا على أن ثمة كونا خفيا بالكامل يعمل هنا في الداخل مباشرة من الكون المألوف لنا.

ونحن لا يمكننا رؤية هذا الكون الظل، لكن يمكننا الشعور به. ووزنه يشدنا عن طريق الجاذبية. وهو يؤثر في مسارات المجرات والنجوم. وبخلاف حقيقة أن هذا الكون موجود هناك، فإننا لا نعرف شيئا آخر عنه. أما تأثير ذلك فينا فهو أمر مازال يجري البحث فيه الآن-فالنظرية جديدة جدا، ومازالت لا تفهم إلا فهما محدودا وقي لاتزال تحت الدراسة في الجامعات والمعامل في العالم بأسره. وقد وصفها أحد الحاصلين على جائزة نوبل بأنها أعظم تقدم في الفيزياء النظرية منذ ميكانيكا الكم أو النسبية العامة. وذلك نوع من المديح في واقع الأمر. فهاتان النظريتان هما العمودان العظيمان لعلم القرن العشرين؛ ومقارنة نظرية الأوتار الفائقة بهما تدل على أنها قد تكون أيضا الكأس المقدسة للفيزياء النظرية، وهي إذا كانت كذلك بالفعل فإن إشاراتها إلى وجود كون خفي ينبغي أن ينظر إليها بما تستحقه من أهمية.

والواقع أن مقارنة هذه النظرية بالنسبية العامة وبميكانيكا الكم هو

أمر يثير الاهتمام، لأن الأوتار الفائقة تتخذ كلتا هاتين النظريتين كمقدمات لها. وهي فضلا عن ذلك تتفادى أمرا حرجا ظل الفيزيائيون صامتين نوعا بشأنه طيلة سنين عديدة. ذلك أن أسس العلم قد أصابها تصدع. فالنسبية العامة وميكانيكا الكم ينطبق كل منهما على مواقف مختلفة تماما ولم يكونا قط بالكفاءة المتوقعة منهما. إلا أن المرء يستطيع أن يتخيل ظروفا حيث يكون لكلتا النظريتين شيء ما تقوله-وينتهي الأمر إلى أن تناقض كل منهما الأخرى تناقضا متبادلا. ونظرية الأوتار الفائقة توضح طريقة الإفلات من هذه المفارقة وتبين أن هذه المفارقة ترجع في جزء منها إلى قدرتنا المحدودة على التخيل، فهناك في السماء والأرض أبعاد أكثر مما نحلم به. وإلى أن نتمكن من استيعاب ذلك فإننا مرة أخرى نكون مثل المجتمعات البدائية التي كانت كلها أقل وعيا بالمجهول.

وعلى ذلك فلنر أولا في أي موضع ينهار علم الأبعاد الأربعة ثم نلاقي نظرية الأوتار الفائقة التي تحل المشكلة، ونرى ماذا تدل عليه.

نظرية الكم الميكروسكوبية

تدرك حواسنا المباشرة البنى (أو البنيات) التي يزيد حجمها على عشر المليتر، والميكروسكوبات البسيطة تمد وعينا هذا إلى مدى مقياس الميكروبات. وفي الفترة التي امتدت حتى نهاية القرن الماضي قامت «الفيزياء الكلاسيكية» بتوصيف الظواهر المعروفة في هذا الكون «الماكروسكوبي». على أنه كانت هناك إشارات تصل بالفعل إلى حواسنا العيانية عن مستجدات عميقة تحدث على المسافات القصيرة. فالأجسام الساخنة تبث إشعاعا كهرومغناطيسيا، والنظرية التقليدية تتنبأ بشيء خال من المعنى: فهي تتنبأ بأن هناك إمكانا غير متناه بإشعاع الضوء فوق البنفسجي. ولكن هذا لا يحدث، لذا سميت هذه المفارقة «الكارثة فوق البنفسجية» وكان فيها دلالة على فشل أساسي في النظرة القائمة للعالم.

وقد وجد العالم الفيزيائي الألماني العظيم ماكس بلانك الحل عندما ابتكر نظرية الكم. وقد مثلت هذه النظرية امتدادا للأفكار الكلاسيكية داخل عالم المسافات الميكروسكوبية. إن المادة تتكون من الذرات، وهذه أشياء ممتدة يبلغ قطرها نحو 15-10 متر(أي واحد من عشرة آلاف مليون

من المتر)، ولها بنية داخلية ذات تفاصيل. والفيزياء الكلاسيكية غير كافية لتوصيف الظواهر التي تحدث على مسافات كهذه، وسلوك الذرات الميكروسكوبية ينتج عنه أن إشعاع الضوء فوق البنفسجي يسلك بشكل يختلف عما تتنبأ به النظرية الكلاسيكية. وقد أمكن تجنب ذلك الاحتمال غير المتناهي-أي الكارثة فوق البنفسجية-ما أن تفهم العلماء الدور الجوهري لنظرية الكم، التي تقضي بأنه يتعين تعديل القوانين الفيزيائية بالنسبة للمسافات البالغة القصر.

لقد شكلت نظرية الكم نظرة مختلفة إلى العالم. ففي نظرية الكم مبدأ أساسي هو مبدأ «عدم التحدد»، فأنت لا يمكنك أن تقيس في وقت واحد كلا من الموضع والعزم (أو الطاقة التي في إحدى المنظومات) بتحديد متناه. فكلما كان قياس الموضع أكثر دقة، كانت دقتنا أقل في قدرتنا على تحديد عزم وطاقة هذه المنظومة. وذلك أمر غير محسوس بالنسبة للأشياء الماكروسكوبية وإنما هو أكثر وأكثر ظهورا بالنسبة للظواهر التي على مستوى مقاييس الأطوال الميكروسكوبية وتحت الذرية.

وتقضي معادلة أينشتين المشهورة $E=MC^2$ (الطاقة = الكتلة x مربع سرعة الضوء) بأن الطاقة والكتلة تتكافآن. فالطاقة يمكن بمعنى ما، أن تتخثر وتشكل جسيمات من المادة، وبالعكس فإن المادة لديها إمكان أن تغير شكلها إلى طاقة مشعة، كما يحدث مثلا في بعض التفاعلات النووية في الشمس. والآن فإنه حسب نظرية الكم لو حاولت أن تنظر إلى الأشياء على مسافة تحديد رهيفة جدا فسوف تجد أن عزم وطاقة المنظومة التي تتم دراستها يتراوحان تراوحا واسعا، ويزيد ذلك كلما كانت المسافات أصغر. وعندها يكون تأثير معادلة $E=MC^2$ هو أن تراوحات الطاقة على المسافات القصيرة يمكن ظهورها بشكل ما يسمى الجسيمات «التقديرية» وضديدات الجسيمات (صورة المرآة للجسيم بالقدر نفسه من الكتلة، ولكنها ذات شحنة كهربائية مضادة لشحنة الجسيم)، وهذه تتشكل ماديا من الفراغ وتبقى لمجرد لحظة قبل أن تتلاقى وتفنى.

وعند المسافات الأقل من 10^{-13} متر (أي واحد على عشرة تريليونات من المتر) تكون تراوحات الطاقة كبيرة بما يكفي لإمكان خلق أخف جسيم مشحون كهربيا-أي الإلكترون-حيث يتم خلقه للحظات ومعه ضديد المادة

المقابل له (البوزيترون). ونتيجة لذلك لا يعود ممكنا توصيف المنظومة على أنها تحوي عددا ثابتا من الجسيمات: فالإلكترونات والبوزيترونات تتشكل ماديا باستمرار ثم تختفي بمقاييس زمنية قصيرة. بل إن الفراغ ليس خواء، فالفضاء «الخال» هو وسط به عدد لا نهائي من الجسيمات والضديدات التي تمور داخله.

وذلك كله يمثل نظرية الكم النموذجية كما تتجلى عبر مقاييس المسافات الذرية والنووية. إنها بمنزلة النموذج، وهي أداة جوهرية في مجموعة أدوات كل عالم منظر، وهي بمثابة الضامن لنظرياتنا عن القوى الأساسية التي تعمل على الذرات المفردة وداخلها. وتتمثل هذه القوى الأساسية في القوة الكهرومغناطيسية، التي تبقي على الإلكترونات في الأطراف الذرية، والقوة «القوية» التي تجعل النواة الذرية متماسكة، والقوة «الضعيفة» المسؤولة عن النشاط الإشعاعي (اضمحلال بيتا) والتفاعلات التي تقوم بها جسيمات النيوترينو الشبحية ذات الشحنة المتعادلة. هذه القوى الثلاث الأساسية تتحكم في كل الظواهر فيما عدا تلك التي ترجع إلى القوى العظمى الرابعة- أي الجاذبية. وهذه القوة الرابعة التي عرفت لزمن أطول، هي في الواقع أقل القوى قابلية للفهم. توفر نظرية الأوتار الفائقة ما يعد بدمج الجاذبية على نحو طبيعي في نظرية موحدة لكل القوى والمادة التي في الكون.

الجاذبية

منذ ثلاثة قرون قدم إسحق نيوتن أول توصيف كمي لإحدى القوى الأساسية للطبيعة، وذلك في نظريته الشهيرة عن الجاذبية. ورغم أن قوة الجاذبية بين الذرات على مستوى الطاقات الأرضية هي قوة ضعيفة، فإن «كل» جسيمات المادة يشد أحدها الآخر على نحو جاذبي، والنتيجة المترتبة على ذلك هي أن التأثيرات الجماعية للكثير من الجسيمات، مثل تلك التي في الأرض، ينتج عنها تأثيرات ملموسة، فهي تمسك بنا فوق الأرض، وتتحكم في حركة الكواكب والمجرات.

وعندما تتحرك الأشياء حركة سريعة جدا، تكون تأثيرات الجاذبية مختلفة عما توصفه نظرية نيوتن. وأحد أمثلة ذلك هو ما نراه في مدار الكوكب المندفع عطارد، حيث تتغير نقطة أوثق اقتراب له من الشمس تغيرا

بسيطا من مدار للتالي. ونظرية إينشتين عن النسبية العامة تتخذ نظرية نيوتن منطلقا لها وهي تتفق حتى الآن مع كل المشاهدات على مستوى الظواهر الجذبية.

ونحن على المستوى العملي نطبق الجاذبية على الكسوف والمد وحركة الأقمار التابعة-أي على المادة المكتلة. ولكن ماذا عن الجاذبية على مقياس الذرات المفردة؟ إن القوة الجذبية فيما بين الذرات المفردة ضعيفة ضعفا بالغا-فهي مغلوبة على أمرها بالقوى الكهربية والمغناطيسية والنووية. وعندما ندرس سلوك الذرات المفردة والظواهر تحت الذرية فإننا نستخدم ميكانيكا الكم دون حاجة إلى الجاذبية أو النسبية العامة. لكننا، وعلى العكس من ذلك، عندما نتعامل مع بنيات ماكروسكوبية تتفاعل معا جذبيا فإننا لا نحتاج إلى ميكانيكا الكم لأن هذه النظرية تركز على البنية الميكروسكوبية للمادة. وبالتالي فإن النظريتين لا تلتقيان معا مباشرة في التطبيق العملي، فنحن نحتاج إلى هذه النظرية أو الأخرى، ولكننا لا نحتاج إليهما معا في الوقت الواحد.

ولقد مثلت نظرية أينشتين عن النسبية العامة أول نظرية جديدة عن الجاذبية منذ عمل إسحق نيوتن في القرن السابع عشر. وتتضمن نظرية أينشتين قوانين نيوتن ثم تذهب إلى ما بعدها بكثير، فتوصف ليس التفاح الساقط من الشجرة وحركة الكواكب والمجرات فحسب، بل تتناول أيضا تطور الكون بأسره. وتطرح تصورات دقيقة بشأن العلاقة بين الجاذبية وطبيعة المكان والزمان، ولا تستطيع تخطئتها حتى أكثر التجارب المعملية في هذا الحقل.

وتبين معادلات النسبية العامة أن ما ينجذب ليس الكتلة بذاتها بل الطاقة. فالضوء له طاقة، وهكذا فإن الجاذبية تعمل مفعولها فيه. والشمس ذات الكتلة الكبيرة يمكنها أن تحرف قليلا أشعة الضوء التي تمر بها. ولو كانت كتلة الشمس أكبر كثيرا جدا لأدت إلى انحراف أشعة الضوء كثيرا. وعندما يتركز قدر كاف من الكتلة في منطقة صغيرة فإن ما ينجم عن ذلك من قوى جاذبة قد يكون قويا جدا حتى ليقع الضوء في أسرها مما ينتج عنه ثقب أسود.

وفكرة وجود ثقب أسود في الفضاء هي فكرة غريبة، ولكنها ليست

بالذات مما يستبعده العقل. وهي فكرة محببة جدا في روايات الخيال العلمي بسبب ما يحدث من جذب شديد للمكان والزمان اللذين في جيرتها. فالجاذبية هنا شديدة القوة حتى لتجعل المكان-الزمان يلتفان حول نفسيهما فالزمان بمعنى ما يتوقف ساكنا. وتلك هي النقطة التي يظهر عندها التضارب المنطوي على المفارقة مع نظرية الكم.

التضارب

تقضي نظرية الكم بأن الطاقة تتموج عند المسافات بالغة القصر أو المقاييس الزمنية بالغة القصر. وقد سبق أن ذكرنا أن الإلكترونات والبوزيترونات تفور باستمرار عند 10^{-13} متر. وعند المسافات التي تقل عن 10^{-35} متر تكون تموجات الطاقة جد هائلة بحيث إنه يمكن أن تتشكل وتفنى جسيمات تصل كتلتها إلى 1910 ضعف كتلة البروتون. ومثل هذه الكتل الكبيرة المتركزة في مسافات دقيقة كهذه هي ثقوب سوداء. وهكذا فإن نظرية الكم تقفي بان هناك ثقوبا سوداء صغيرة جدا تأتي وتذهب. ويظل الزمن يتوقف ساكنا عند المسافات البالغة القصر أو عند الفترات الزمنية البالغة القصر. فالجاذبية تشوه البيئة تشويها شديدا حتى أن كل فكرتنا عن المكان والزمان تنهار رأسا على عقب.

والمشكلة هي أن ما لدينا من «نظريات كم» حول مجالات القوى (أي نظريات المجال الكمي) قد بنيت على الافتراض القائل إن من المعقول أن نتحدث عن المكان والزمان عند كل مقاييس الطول وعند أي فترة زمنية نختارها مهما كانت قصيرة. فالزمان ينظر إليه على أنه يظل مستمرا وينساب أبدا ولا يتوقف ساكنا ولا يتواثب. وهكذا فإن نظرية النسبية العامة (الثقوب السوداء) هي ونظرية الكم تكونان في أحسن حال ما دمنا نبقيهما منفصلين، ولكنهما تكونان مما يجب تغييره لو وضعتا معا في نظرية نهائية.

ولو تجاهلنا هذه التضاربات وحاولنا أن نحسب الأرقام بأي طريقة فإننا سنجد نتائج غير معقولة. فالكميات التي ينبغي أن تكون متناهية في الواقع تصل في النظريات إلى أن تصبح لا متناهية. وكمثال على ذلك فإن قوة الجذب ما بين إلكترونين تفصل بينهما مسافة مقدارها 10- 22 سم

يتنبأ بأنها لا متناهية.

وظهور اللامتناهيات كإجابة عن حسابات نظرية الكم ليس بالشيء الجديد. فذلك يحدث طوال الوقت في الديناميكا الكهربية الكمية (نظرية الكم للقوة الكهرومغناطيسية) إلا أنها «غير ضارة» من حيث إنه يمكن إزالتها، باستخدام تكنيك رياضي معرف جيدا ويسمى «إعادة التطبيع». وفي الحقيقة فإن اللامتناهيات تختفي بإعادة تعريف ما نعنيه بكتلة وشحنة الجسيمات مثل الإلكترون. ولا يحتاج الأمر إلا أن نفعل هذا مرة واحدة وسيظل ذلك صالحا للعمل طوال الوقت. وكون هذا مما يمكن إعماله على نحو متسق لهو أمر فيه عمقه وفائدته العملية، فهو يمد بنظرية كم للكهرومغناطيسية تتسق مع النسبية ومع الحس المشترك.

ولسوء الحظ فمان هذا لا يصلح في حالة النسبية العامة. فنظرية أينشتين تقضي بأن قوة الجاذبية تصبح أشد وأشد كلما زادت الطاقة التي تحوزها الجسيمات المتجاذبة. وهذا ينتهي بأن يقوض النظرية. فاللامتناهيات ستنبثق عندها متفجرة وهي مما لا يمكن بعد امتصاصها فتبدو وكأنها التصقت بنا. وذلك موقف من الواضح أنه مما لا يعقل وبالتالي فلا بد من فعل شيء بشأنه.

وقد ظل الناس زمنا طويلا يجربون الفكرة تلو الأخرى ويفشلون. وبدا أنه ليس من شيء في المعرفة التقليدية يمكن أن يقوم بالمهمة على نحو مرض. فنحن لدينا هنا المتناهيات غير مطلوبة وفيها مفارقة بما يذكرنا بالكارثة فوق البنفسجية التي بشرت بميلاد نظرية الكم. وبالتالي سيتطلب الأمر وجود عامل جديد، أو نظرية جديدة، تستخدم النسبية العامة ونظرية الكم كمقدمات لها. وهذا ما يبدو أن نظرية الأوتار الفائقة قد أنجزته.

وكما أن مفارقة إشعاع الجرم الأسود كانت أول مفتاح للوصول إلى بنيات أكثر ثراء تقع على مسافات تحت إدراكنا العياني، فإن هذه المفارقة الجديدة تشبه ذلك تماما. ففي حالة لانهائية إشعاع الجرم الأسود تمثلت الإجابة في التحبب الذري atomic granularity، بينما تمثلت الديناميكا الجديدة لذلك في ميكانيكا الكم. وتتجاوز ميكانيكا الكم أطر الميكانيكا التقليدية على مستوى المسافات الكبيرة حيث يكون التحبب مخبوءا. على أن خطوط الطيف المتميزة التي تنبعث من الذرات-أي حقيقة أن العناصر المختلفة

تشع أطياف ألوان مميزة لكل منها، مثل الأصفر أو الأزرق لمصابيح الشارع التي من الصوديوم أو الزئبق-فيها ما يذكرنا بما يكمن تحت ذلك.

والمفارقات التي تواجه النسبية العامة وميكانيكا الكم إنما هي إشارات تدل على أن هناك تحببا على المسافات بالغة القصر، بما هو أصغر حتى من مقياس نواة الذرة. وحسب النظرية الجديدة للأوتار الفائقة فإن الطبيعة لها بنية معقدة ذات تفصيلات، وبمقاييس هي أصغر بملايين البلايين من المرات من الجسيمات الذرية المعروفة مثل الإلكترونات والبروتونات. وما كنا نفكر فيه من قبل على أنه نقط أصبح الآن ينظر إليه كبنيات ممتدة تتذبذب مثل أوتار الكمنجة. (وهذا هو الجزء الخاص بـ«الأوتار» من نظرية الأوتار الفائقة، أما «الفائقة» فتشير إلى خاصية معينة في الرياضيات لا علاقة لها بقصتنا الحالية). وهذا التحبب يحوي ستة أبعاد مخبوءة تمتد لما هو أقل من جزء من بليون البليون من حجم البروتون.

وهناك شيء كبير الحجم باق من هذا الثراء العميق وهو إمكان وجود كون مظلم. والأبعاد الخفية تترك أيضا آثارها. ففي إدراكنا ذي الأبعاد الأربعة تظهر الأبعاد الخفية نفسها في قوى كهربية ونووية.

البعد الخامس

تعود فكرة البعد الخامس إلى أكثر من خمسين عاما حين ظهرت في دراسة لتيودور كالوزا وأسكار كلاين. إن نظرية أينشتين عن الجاذبية-أي النسبية العامة-تتعامل مع الزمان بمستوى التعامل نفسه مع المكان، وهكذا فإنها نظرية عن المكان-الزمان. فكوننا موجود في «المكان-الزمان»-أي في أبعاد مجموعها أربعة.

وقد بنيت نظرية أينشتين على نحو يمكنك من أن تكتب معادلاتها عن أكوان أسطورية لها أكثر من أربعة أبعاد. وتلك لعبة رياضية لا يبدو أن الطبيعة تبالي بها حيث إننا من الوجهة العملية نعيش فحسب في أربعة أبعاد. وقد أعاد كالوزا وكلاين كتابة نظرية أينشتين في خمسة أبعاد وأخذا يختبران ماذا يحدث بعد إبراز البعد الخامس.

إنك لو قذفت بهذا البعد الخامس بعيدا فستعود مرة أخرى إلى جاذبية الأبعاد الأربعة التقليدية، لن تكون قد أنجزت شيئا إلا أوراقا مهدرة. إن

عليك على نحو ما أن تبقي على البعد الخامس، إلا أن عليك أيضا أن تواريه لأنه لا يظهر نفسه بأي وسيلة واضحة لحواسنا العيانيه. والطريقة التي فعلا بها ذلك هي أنهما قد افترضا أن البعد الخامس ملفوف ومدموج، بحيث لا يوجد إلا على المسافات القصيرة جدا (انظر شكل 12-1).



بنية ملفوفة-بعد دائري على نطاق صغير
شكل (12-1): الأبعاد الملفوفة

وسبب ذلك غير معروف حتى الآن وهو سؤال للمستقبل. أما في وقتنا الحالي فنحن نفرضه لا غير على المعادلات ونرى ماذا يحدث. حسنا، إن جاذبية أينشتين تنبثق من الأبعاد الأربعة التي تركت دون أن تمس، وليس في هذا أي مفاجأة. أما الأمر المثير للاهتمام فهو: ماذا يحدث للجاذبية في البعد الملفوف؟

إن النتيجة المذهلة هي أن المعادلة التي تصف القوى الجذبية في البعد الخامس هي معادلة قد رآها كالوزا وكلاين من قبل، وهي مألوفة لكل طالب فيزياء. فهي نفسها المعادلة التي اكتشفها كلارك ماكسويل في 1895 والتي تصف القوة «الكهرومغناطيسية». لقد أدت أبحاث كالوزا وكلاين في واقع الأمر إلى التحقق من أن ما نسميه قوة كهربائية ومغناطيسية ليس سوى جاذبية-في البعد الخامس. فأنت عندما تلعب بالمغناطيسات، أو تدير مفتاح تشغيل محرك سيارتك، فإنك تكون بذلك في حالة اتصال مع البعد الخامس.

واليوم أصبحنا نعرف قوى أخرى تعمل داخل نواة الذرة ومن حولها. وإحدى هذه القوى هي «القوة الضعيفة» التي ينشأ عنها النشاط الإشعاعي.

ونحن نعرف أنها على صلة وثيقة بالقوة الكهرومغناطيسية، ومن ثم فإننا نتوقع أن تكون هي الأخرى جاذبية في أبعاد أعلى. والنظريات الموحدة الكبرى الحديثة تقضي بأن القوه الضعيفة هي والقوة القوية أيضا، التي تربط الكواركات والنوى الذرية، إنما تمثلان تجليات دقيقة للقوة الكهرومغناطيسية. وفكرة وجود أبعاد أعلى تؤكد أنها كلها على علاقة بالجاذبية.

والرياضيات التي تصف القوى الضعيفة والقوى القوية معنية بالأمر أكثر من رياضيات الكهرومغناطيسية، ويتطلب الأمر وجود أبعاد خمسة إضافية حتى نأتي بالقوى كلها معا. وهكذا فإنه إذا كانت القوة الكهرومغناطيسية هي الجاذبية عند البعد الخامس، فإن القوة الضعيفة والقوة القوية تكون هي الجاذبية عند أبعاد من ستة إلى عشرة.

وهناك دلالات عديدة غير مباشرة تشير إلى صواب هذه الأفكار، وإلى أن هناك حقا أبعادا أكثر من الأبعاد المألوفة لنا أي الأبعاد الثلاثة في المكان وبعد الزمان الواحد. والمنظرون الآن في صراع مع مشكلة السبب في أن الأبعاد الثلاثة للمكان قد نمت في الكون الماكروسكوبي على حين التفت الأبعاد الأخرى مخلفة علامتها بطريقة مختلفة، مثلما هي الحال في القوى الكهربائية والنووية. لقد حدث للمكان والزمان في أول لحظة من الانفجار الكبير التواءات لا تستطيع رياضياتنا أن تصفها بعد. على أن معظم علماء الفيزياء الرياضية الذين تخصصوا في فيزياء الجسيمات، والكونيات، والفيزياء الفلكية يبحثون الآن في هذه المشكلة أو في مشكلات ذات صلة وثيقة بها. ولا يملك أحد بعد كل الإجابات، ولكن هناك أجزاء من الرياضيات التي تنبثق من دراسة الأوتار الفائقة، ومن دراسة الكون المبكر عموما، لها دلالاتها الموحية.

وإحدى هذه الدلالات هي أن المكان والزمان، كما نعرفهما اليوم، ربما كانا غير مستقرين. وتلك فكرة مرعبة ولكنها ليست بالضرورة غير معقولة. ومع كل، فنحن لا نعرف، رغم كل شيء، لماذا يوجد هذا العدد من الأبعاد الموجودة هنالك، ولدينا دلائل على أنها بمعنى ما مجرد «ما تبقى» من عشرة أبعاد، وإذن فلماذا ينبغي أن تكون دائمة ولا تتغير وما مدى ضمان مادة نسيج الكون التي وجدنا أنفسنا من داخلها؟

انهيار المكان والزمان

تبحث الطبيعة دائما، كما ذكرت في الفصل السابق، عن الأشكال الأكثر ثباتا؛ أي حالة الطاقة الأدنى. وقد لاقينا في ذلك الفصل إمكان وجود المادة الغريبة، التي هي أكثر استقرارا من مادتنا، والتي يمكن أن تزرع بذور انهيار مادتنا فيما لو تلاقينا. وقد انبثق عن الدراسات التي أجريت على الانفجار الكبير إمكان أكثر دراميّة، وهو أن الكون ككل قد يكون غير مستقر بالطبيعة. ولست أعني هنا أن مادته تتآكل على مدى زمني لا متناه هو أبعد من أن يثير قلقنا، وإنما شغلني بدلا من ذلك إمكان أن تتغير مادة نسيج الكون فجأة في مكان ما الآن تنتشر مثل السرطان بسرعة تقارب سرعة الضوء، مدمرة كل شيء.

وسوف تبقى كل فتات وقطع المادة كما هي على المستويات الأعمق لكن سيعاد تشكيلها، والتوصيف الفني لذلك هو التغير «الطوري».

وفكرة أن تغير المادة طورها فكرة مألوفة جدا. فالثلج والسيولة والبخار هي أطوار مختلفة للماء، وجزئيات المادة (H2o) تكون هي نفسها في كل حالة ولكنها تترابط جماعيا بطرق مختلفة. ويعتمد التشكيل الذي تختاره الجزئيات على الظروف الخارجية مثل الحرارة والضغط. فيمكنك أن تسخنها تسخينا فائقا أو أن تبردها تبريدا فائقا. وكمثال فإن الماء في مبرد السيارة يمكن أن يسخن لما هو أكثر من 100 درجة مئوية عندما تنحشر السيارة في ازدحام المرور. ومادام غطاء المبرد يعمل بكفاءة فإن الضغط يمنع الماء من الغليان. وإذا كان السائق غير حكيم وأخذ في إزالة الغطاء، فإنه كنتيجة لذلك سوف يتلقى عاصفة من بخار حارق، فالماء الذي سخن تسخينا فائقا يغلي عندما ينخفض الضغط. وبالمثل فإن الماء يمكن تبريده تبريدا فائقا لما تحت نقطة التجمد، وأن يظل سائلا مادامت، الظروف الخارجية لا تتغير، ولكن لو تغيرت هذه الظروف فإن الماء يتجمد فجأة. وعندما يكون الماء في حالته من البرودة الفائقة فإننا نقول إنه في حالة ما وراء الاستقرار، بينما الشكل المتجمد هو المستقر.

ومن الأفكار الشائعة بين بعض الفيزيائيين الآن أن الكون هو في حالة ما وراء الاستقرار-أي أن التبريد الذي حدث منذ الانفجار الكبير الساخن خلفنا في كون في حالة برودة فائقة بدلا من أن يكون كونا متجمدا. والنجوم

والكواكب والكائنات البشرية هي النظام الطبيعي للأشياء بشرط توافر لبنات البناء التي يكون على الطبيعة أن تعمل عليها، وتوفير الوسيلة التي تفضل قوانين كوننا أن يتم اتحاد اللبنات بها. ولكن إذا كان الكون فحسب في حالة تبريد فائق بحيث إنه ينبغي أن يتجمد في المستقبل فإن لبنات البناء الأساسية يمكن أن تتحد معا بطريقة أكثر كفاءة من حيث الطاقة. وسوف نكون أنا وأنت وكل ما قد عرفناه إلى زوال ليسود نظام آخر.

وبإمكاننا أن نرى بالفعل، فيما حولنا من الكون، أمثلة للكيفية التي تشكل بها الجسيمات الأساسية بنيات مجهرية مختلفة ومن ثم أشكالا مختلفة من المادة المكتلة. وفي الوقت الراهن نجد الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات مربوطة على الأرض في ذرات، بينما تطوف هذه الجسيمات نفسها وهي في الشمس حرة فيما نسميه بلازما. وبمعنى ما فإن المادة هنا هي في طور مختلف عن طورها في النجوم الساخنة؛ فهي تتكون من الجسيمات نفسها، ولكنها مربوطة بإحكام مثل الثلج بدلا من وجودها في حرية كما في الماء. والنموذج القائم بين المنظرين من العلماء هو أن الكون بدأ ساخنا جدا، أسخن من أي نجم الآن. وقد تم في الانفجار الكبير صهر كل شيء حتى البروتونات والنيوترونات، وعند هذه اللحظات المبكرة تحررت كواركاتها، بل وفيما هو مبكر عن ذلك، عندما كانت الظروف حتى أكثر تطرفا، ربما كان الكون في طور ما آخر؛ ومن الممكن أن يكون تبريده إلى الكواركات ثم في النهاية إلى الجسيمات النووية قد خلفه في حالة التجمد الحقيقية التي هي عند أدنى طاقة، أو لعله برد فقط إلى حالة البرودة الفائقة حيث ظل على ذلك حتى الآن.

ومن الصعب أن نتخيل ما يكونه الشكل الأكثر «تجمدا» لهذه الجسيمات إذ ليس لدينا أي حدس يرشدنا بهذا الصدد. وكل ما يمكننا قوله هو أنه ليس لدينا أي ضمان بأننا المنتج النهائي المحبذ. فإذا لم نكن كذلك فنحن لا نزال محظوظين، فلعل الكون قد توقف مصادفة عند طوره الحالي، وليس لديه وسيلة واضحة للوصول إلى تشكيله المحبذ أكثر.

وبالقياس بالتمثيل، فنحن في الطابق الأول (فوق الأرضي) مما يشبه كاتدرائية كونية وهو أمر لا بأس به مادام ليس هناك باب مسحور نهوي من خلاله أو على الأقل فإذا كان هناك باب مسحور فإن أحدا لا يفتحه خطأ

والمشكلة هي أن نظرية الكم يمكن أن «تفتح الباب». فشق الأنفاق خلال الحواجز (الطابق) للسقوط من حالة طاقة عالية إلى طاقة أدنى هو أساس الكثير من عمليات الاضمحلال النووي.

وهكذا فلو انتظرنا زمنا طويلا بما يكفي فسنجد أن الطبيعة سوف تشق نفقا في مكان ما يأخذنا من تشكيلنا الذي هو وراء المستقر لنصل إلى تشكيلنا الحقيقي في الدور الأرضي. هذا وقد ظل الكون موجودا لما يزيد على 10 بلايين سنة، وهو زمن كاف لأن يحدث في مكان ما في وقت ما تغير من هذا النوع أو لعله الآن قد بدأ يحدث. فهذا يمكن أن يحدث في أي وقت وأي مكان.

وإذا ما تكونت فقاعة من «كون متجمد»، فإنها قد تموت أو قد تنمو نموا غير محكوم، ويتوقف على درجة انخفاض الطاقة في هذه الحالة المرغوب فيها بالمقارنة بحالة ما وراء الاستقرار، أي كم يعلو طابقنا الحالي فوق الطابق الأرضي. وهذه الفقاعة النامية يمكن أن تتمدد بسرعة الضوء تقريبا مع انطلاق هائل للطاقة. وسوف تصدر ضجة هائلة عن كل شيء، والزئير الصادر عن المادة الغريبة سيكون همسا بمقارنته بها.

وفي عام 1983 قام عالمان بارزان في الفيزياء الفلكية، هما مارتن ريز وبيت هت، بإدخال ملمح جديد إلى هذا الجدل بأن تساءلا في مجلة «الطبيعة» Nature عما إذا كانت التكنولوجيا الحديثة ستفتح الباب المسحور في خطأ غير متعمد. أفيمكن لمعجل جديد للجسيمات تحت الذرية أن ينتج تركيزا كبيرا من الطاقة في بقعة واحدة بحيث ينقلب حال هذا الجزء من الكون، ثم ينتشر كالسرطان، وفي النهاية ينقلب الكون بأسره من خلال الباب المسحور-أو كما يقال بلغة أكثر رسمية: «أن يحدث ذلك تحولا تلقائيا عن طريق شق نفق بوساطة ميكانيكا الكم». وبوصل المعجلات الجديدة للجسيمات إلى مناطق من الطاقة لم يسبق سبرها على الأرض، فإن هذه الفكرة المرعبة تجعلنا نتريث ونعيد النظر.

وبعد إجراء بعض الدراسات استنتج هت وريز-لحسن الحظ-أنه لا داعي فيما يحتمل لأن ننزعج بهذا الشأن. فرغم أن تلك هي المرة الأولى التي ستنتج فيها المعجلات الجديدة اصطدامات من هذا النوع على الأرض فإن الطبيعة تقوم بها طوال الوقت. فالأشعة الكونية تتكون من جسيمات نووية

عند طاقات هائلة، هي أعظم كثيرا من أي مما يتم إنتاجه على الأرض حتى الآن. وهي نادرة جدا في الفضاء، ولكن حتى مع هذا فقد وقع في تاريخ الكون عدة مئات الآلاف من مثل هذه الاصطدامات ومازال الكون باقيا. ومن ثم يستنتج هت وريز أنه ما من معجل جسيمات سيفرض أي تهديد لمادة نسيج الكون، وذلك في المستقبل المنظور.

ولكن ماذا لي كان هناك في برج «المرأة المسلسلة» كائنات متقدمة تبني معجلات تفوق بلايين المرات أي شيء مما يمكن حتى أن نحلم به؟ إن لعبة كهذه ستكون بمنزلة التلويث النهائي: فقاعة تنتشر وتلتهم كل شيء. وحمدا لله أنه ما من شيء على وشك أن يلتهمنا هكذا، إن الفقاعة تنتقل بسرعة تقارب من سرعة الضوء ولكنها تقل عنها، وهكذا فسوف يكون لدينا نوع من الإنذار المتقدم عن وصولها. ولست واثقا مما يمكننا أن نفعله بهذا الشأن لو رأينا إنذارا آتيا، ولكني ألوذ هنا بالأمل في أنه إذا كان هناك أي أناس أكثر تقدما منا فإنهم سيكونون على درجة كافية من التقدم بحيث يكونون قد فكروا من قبل في هذا الأمر، وبالتالي فإما أنهم لن يبنوا هذه الماكينات أو أنهم سوف يحيطونها بدرع يقي نهائيا من الإشعاع!

أكوان متوحشة؟

هل يمكن إنشاء كون في المعمل؟ إن هذا يبدو وكأنه الحلم النهائي لرواية الخيال العلمي، على أنه بحلول عام 1987 وصل فهمنا لأصول كوننا إلى مرحلة جد متقدمة بحيث قام عالمان مبرزان من علماء الفيزياء الفلكية، وهما إد فارهي وآلان جوث من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، بمناقشة الفكرة في مجلة «رسائل الفيزياء»، وقد توصلا إلى نتيجة مفادها «أن هذا الأمر كما يمكنك أن تتخيل صعب تماما» ولكن ربما كان غير مستحيل، من خلال نظرية الكم، من جهة المبدأ. إنه مستحيل فحسب عند التطبيق من حيث ما يتوافر حاليا من التكنولوجيا، وبالتالي فكما حذرت في المثل السابق، فربما يكون متاحا لمخلوقات متقدمة عنا في مكان آخر.

لقد كنا نعتقد، حتى زمن قريب جدا، أن الكون دائم ومطلق. وكنا نعتقد منذ سنوات معدودة أننا قد اكتشفنا كيفية تكوين الكون، وأخذنا نتناقش بشأن المستقبل على المدى البعيد، مثل ما إذا كان الكون سيتمدد ويبرد أم

أنه سيعاني من الفناء بالحرارة إذ يتقلص، ولكننا اتفقنا على شيء واحد: أن كوننا هو الكون الوحيد الموجود. وقد تحدث كوارث للمادة التي في داخل كوننا، أما الكون نفسه-أي المكان والزمان اللذان تدور الدراما فيهما-فسيظل مستمرا. والآن فإن هذه العقيدة أصبحت موضع شك. بل إن العالم السوفييتي البارز أندريه لند يرى أن كوننا يتكون في الواقع من عدد لا يحصى من أكوان صغيرة منفصلة، قد تختلف قوانينها اختلافا جذريا عن الكون الذي اتفق أننا نوجد فيه.

وهكذا بدا فجأة أن الكون أقل استقرارا وأقل يقينية بكثير مما كان في السابق. لقد كنا ذات يوم نعتقد أن الأرض هي مركز كل شيء، ثم تصورنا أنها الشمس، وفي النهاية ألفنا فكرة أننا نشغل موضعا خارجيا قليل الأهمية في مجرة غير ملحوظة ليست إلا واحدة بين بلايين. وإذا زحزحنا بوقاحة هكذا من تمركزنا على ذاتنا فإن المرء قد يظن أن هذه هي نهاية الأمور. ولكن لا، فقد أصبحنا نشك الآن حتى فيما إذا كان كوننا هو الكون الواحد الوحيد. فهل نعيش في كون من أكوان متعددة؟

ولقد نشأت فكرة أننا نستطيع أن ننشئ كونا جديدا في المعمل عن النظرية التي شاع الاستمساك بها حاليا والقائلة إن كوننا انتفخ في أول جزء من الثانية انتفاخا هائلا قبل أن يستقر على تمدده ببطء في العشرين بليون سنة الأخيرة. وهذه النظرية عن «الكون الانتفاخي» تفسر بعض الألغاز التي كانت مصدر إزعاج بالنسبة للنماذج المبكرة للانفجار الكبير، كما تعطي النظرية تنبؤات قابلة للاختبار عن حالة الكون حاليا وهي تنبؤات ظلت ناجحة حتى الآن. وحسب النظرية الانتفاخية، فمان الكون كان له أصلا كتلة من 10 كيلوجرامات في حجم هو جزء من البليون من النواة الذرية. وعشرة كيلوجرامات ليست بالشيء الكثير، ففي إمكانك أن تتقدم بها كمتاع يفحص وزنه عند الدخول إلى طائرة أحد الخطوط الجوية دون أن تدفع غرامة زيادة وزن. فإذا كان هذا الوزن كافيا لبدء الكون، فكيف تم نموه إذن؟

تقول النظرية إنه في الداخل من هذه المنطقة تكون هناك حالة ما وراء الاستقرار، وإذ أخذت الحالة في الداخل تمر في تغير طوري لتصل إلى حالة الاستقرار التي نحن عليها الآن، فإن الداخل يكتسب طاقة وذلك

بفضل صفة خاصة مميزة لنظرية الكم. ويشبه التأثير هنا ما يضاد الجاذبية- تنافر ضخم ونمو للطاقة الخالصة حتى تستقر في الطور الحالي، ويكون ما يتبقى من تمددها هو الحفرية المتخلفة عن هذه الصدمة. وهكذا فقد تولد قدر من الطاقة يكفي لأن يضخم هذه الكيلوجرامات العشرة الابتدائية إلى كل ذلك الكون الذي نراه الآن.

وعلى ذلك فإذا كان الكون يمكن أن ينبثق مما لا يزيد على حقيبة سفر، فهل يمكننا أن نصنع مرجلا في منطقة محددة من المكان وأن نرتب له بحيث يكون في حالة ما وراء الاستقرار؟ ثم بعدها يندفع انفجار، وتنفجر هذه المنطقة الصغيرة لتصبح كونا له تطور في المستقبل يشابه تطورنا نحن، لقد بدأ الأمر كله من وسط طاولة فحص المتاع الداخل للطائرة؟

وإذا صنع أحدهم كونا جديدا، فما الذي سيحدث لكوننا الحالي؟ ترى هل نحن في خطر من تجارب قد يقوم بها أحد السكان المتحمسين في برج «الدب الأكبر؟»، وهل يمكن أن يوجد أكثر من كون واحد؟ وإذا كان من الممكن إنشاء كون جديد، أفلا يصبح من المؤكد أن كوننا هذا يمكن تدميره؟

إن النظرية التي تطرح أن ذلك يمثل حقيقة علمية يبدو أنها تدل أيضا على أننا سنكون آمنين إذا كانت هناك أكوان جديدة تنشأ. فهذه الأكوان تصنع مكانها وزمانها الخاصين بها دون أن تتدفق لتدخل في مكاننا وزماننا، وهكذا فإنها لن تدمرنا. وفي حدود علمنا الحالي، فإن جدار الفقاعة سيكون مثل سطح ثقب أسود.

والواقع أن من الصعب تخيل هذه الفكرة، عن كون يظهر فيما يبدو من لا مكان، ومع هذا فانه مفصول على نحو ما عن المكان والزمان اللذين نوجد فيهما. فهذا كله يحدث في أبعاد تتجاوز خبرتنا المباشرة، وهكذا فكما فعلنا من قبل فلعله مما يساعدنا أن نتخيل كون «الرجل المسطح» وكيف ستبدو هنالك هذه النشأة التلقائية.

إن عالم الرجل المسطح هو سطح كرة بالغة الضخامة بحيث تبدو وكأنها مسطحة بالكامل، دون أي انحناء على الإطلاق. وتكوين الكون الجديد يشبه انتفاخ «أنورسما»(*) على السطح حيث يحدث للمكان والزمان نتوء مفاجئ للخارج ثم ينفصلان عن والدهما ليكونا كونا جديدا. ونحن يمكننا تصور ذلك، ولكن الرجال المسطحين يمكنهم فحسب أن يقولوا إن الكون

الجديد هو «في مكان آخر»، لأنهم محدودون بإدراكهم المسطح.

وبالنسبة لشخص ما يعيش داخل النتوء فإنه قد يخبر ظروفا تشبه الانفجار الكبير. وبالنسبة للأفراد الذين يعيشون في مكان آخر فان النتوء سيظهر كثقب أسود. وبعد الانفصال، سيبدو أن الثقب الأسود قد تبخر، دون أن يترك أثرا لتكونه. ومثل الرجال المسطحين فإننا لا يمكننا إلا القول إن نتوءه قد وجد «في مكان ما آخر». وسوف نقول إن الكون الجديد قد وجد في مكان وزمان منفصلين عنا تماما. وما أن يذهب، فإننا وإياه لن نستطيع أبدا الاتصال ثانية. وأنت لا يمكنك الانتقال من هنا إلى هناك، كما أنه لا يمكنه أن يغزو فضاءنا. بل قد يتمثل الأمر في أن كوننا قد انفصل بعيدا عن كون مضيف له بفضل نوع من تجارب «أد العمل بنفسك»، تم منذ 20 بليون سنة.

وعلى ذلك فإن خط القاعدة حاليا هو أن العلم يسمح بإمكان نشأة أكوان جديدة، وأن كوننا الحالي قد يتهاوى. والإمكان الأول ليس فيه ما يؤذينا والإمكان الأخير هو غير محتمل إلى أبعد حد. وفي هذه الحالة نكون نحن آمنين من رؤى تلك التنبؤات بالنهاية، أو على الأقل تكون هذه هي الحال حسب فهمنا الحالي. على أنه منذ خمس سنوات ما كان أحد ليفترض جديا أفكارا كهذه، أما الآن فقد أصبحت خاضعة للدراسة الجادة، والنتيجة النهائية هي أي مما قد يخمنه أي أحد.

(*) aneurism انتفاخ في الأوعية الدموية (المترجم)

13 الوقت ينفد

عندما تصبح الشمس عملاقا أحمر

الوقت هو الفجر في أرض الفردوس. والأرض تلف بنا من ظل الليل إلى ضوء النهار الساطع. وخلال بضع ساعات تصبح الحرارة في الصحراء شديدة القيظ، حتى لتبحث السحالي عن الظل. والبيوت فوق تلال مؤاب بالقرن العشرين كلها لديها سخانات شمسية فوق أسقفها. إنها تجمع الحرارة من مفاعل نووي يبعد عنا 100 مليون ميل.

إن الطاقة الشمسية-تلك الطاقة التي بلا تلوث وبلا ثمن، ودائمة-هي يوتوبيا. ولكن لا شيء يأتي بلا ثمن، وإن كان ذلك دينا لا يطالب به إلا بعد زمن طويل. إن حرارة الصحراء هي النتيجة النهائية لاستهلاك الشمس لستمائة مليون طن من الهيدروجين في كل ثانية. وهكذا فرغم أنها تعد فيما يخصنا طاقة بلا ثمن، فإنها كوسيلة لمدنا بالوقود تعد وسيلة تنقصها الكفاءة تماما. فكوكبنا الضئيل يتلقى فحسب جزءا من البليون من الكل، أما الباقي فيذهب في الفضاء.

ومنذ أن بدأت أنت في قراءة هذه الجملة يكون قد تم استهلاك بلايين عديدة من أطنان الهيدروجين، وفي هذا الوقت من الغد يكون قد تم

تماما استنفاد 100 مليون مليون طن. وهو مقدار ضخم، ولكنه جزء جد تافه من الشمس ككل حتى أننا لا نلحظه من يوم لآخر، بل ولا حتى طوال العمر.

وخلال كل المليون سنة التي وجد فيها البشر فإن المقادير النسبية من وقود الهيدروجين في الشمس هو ومنتجه النهائي من الهليوم قد تغيرت فحسب بأقل من جزء من الألف. ومع ذلك ورغم أن الشمس تتغير تغيرا بطيئا فإنه أكيد، فهي تموت، ولو انتظرنا زمنا كافيا-أي نحو5 بلايين سنة- فإن الشمس سوف تستهلك كلها. فماذا يحدث بعدها؟

عندما ينفد كل الهيدروجين، فإن مركز الشمس لن يستطيع أن يقاوم وزن المناطق الخارجية التي تضغط للداخل. ويبدأ قلب الشمس في التقلص وهو إذ يفعل ذلك فان طاقته الجذبية تتحول إلى حرارة وفي هذا إعادة تمثيل لمولد الشمس من سحابة غبار تتقلص.

وإذ يتقلص القلب، فإن حرارته تقذف بالمناطق الخارجية لأعلى، بما يجعل سطح الشمس يتمدد ويبرد. وهكذا فإن الشمس التي ظلت تطلع في لون ذهبي فوق الأفق الشرقي طيلة 15 بلايين سنة، تأخذ الآن في النمو إلى حجم أكبر ولون أشد احمرارا. ويحدث هذا في أول الأمر تدريجيا بما لا يدرك، ثم تتزايد سرعته إذ يقترب السطح الخارجي من الأرض، وتشغل الشمس قدرا أكبر من السماء. وتذوب ثلوج القمة في القطبين وتفيض على المناطق التي تقبع منخفضة، وهكذا تتغير للأبد جغرافية الأرض. ويؤدي ارتفاع الحرارة إلى تبخر المحيطات، ويجعل الكرة الأرضية كلها كغابة استوائية مطيرة تغطيها سحابة مستديمة. وستبدو الأرض لمن ينظر إليها من خارجها محجوبة بغطاء مثلما يبدو لنا الزهرة الآن. ويسود منظر السحاب حمرة شديدة حتى تؤدي الحرارة إلى غليان المحيطات تماما، وتتبخر السحب والجو إلى الفضاء ويصبح الكوكب العاري بلا وسيلة دفاع في وجه العملاق الأحمر الذي يملأ كل سماء وقت النهار. ها هو جحيم دانتي وقد جلب في النهاية جهنم إلى الأرض.

ولا يوجد أي أمل بالنسبة لعطارد والزهرة، فهذان الكوكبان سيتم التهامهما داخل الشمس المتضخمة. وإذا ظلت الأرض تقبع في الخارج فإنها ستصبح ملفوحة، وقفراء، بلا حياة. أما أفراد سلالتنا فقد يبقون

أحياء تحت سطح الأرض وإن كان هذا لن يؤدي إلا إلى تأجيل النهاية.

ويمكن للهليوم، الذي هو ناتج نهائي لاندماج الهيدروجين، أن يندمج ليبني عناصر أثقل مثل الأكسجين والنيتروجين والكربون. وهذا هو ما يجري الآن في القلب من العملاق الأحمر. والشمس إذ تفعل ذلك فإنها تزداد سخونة للمرة الأخيرة، وتتضخم فجأة بما يتجاوز الأرض كثيرا، فتتبخر الأرض هي والمريخ أيضا، إذ تتمدد الشمس بما يكاد يصل إلى مدار المشتري. ويفيض جو الشمس في الفضاء بما يقضي على المنظومة الشمسية، والذين يشهدون المنظر من الأجزاء الأخرى من درب التبانة سيرون غازا سديميا هو الآثار الباقية لنجم كان ذات مرة يهب الحياة. وهناك أمثلة من سدم كهذه مرئية لنا في سماء ليلنا نحن، وكل ما يمكننا فعله هو أن نخمن فحسب أشكال الحياة التي ربما كانت تدعمها هذه السدم في زمن ما.

وهذه النبوءة أكيدة، ومضمونة، ولا يمكن تجنبها، إلا إذا تعلمنا كيف نتدخل في الأمر. فهكذا ستكون نهاية هذه الجوهرة، موطننا ومقر كل ما تجمع من حضارتنا. إنها معلم على لحظة مصيرية في مستقبل تاريخ الجنس البشري. فما الأمل الذي يبقى لدينا؟ لقد وجد البشر مجرد هنيهة تافهة من المدى الزمني للشمس. وقد تقدمنا خلال آلاف معدودة من السنين من النار إلى القوة النووية، ومن العصر الحجري إلى رقائق السليكون، ومن التقاط فتات الطعام إلى أقراص الفيتامينات وحبوب الطعام التي يتم تخليقها كيماويا لاستخدام رواد الفضاء. تخيل هذا المدى من الزمان وهو ينقضي مرة أخرى، ثم مرة ثانية بما يصل إلى مليون مرة؛ ربما نتمكن في مثل هذا المدى من الزمان من أن نتحكم في تطور الشمس وبالتالي نؤجل تحقق النبوءة. وفي أقل القليل فإن من المؤكد أنه سيكون في إمكاننا استعمار منظومات نجمية أخرى.

إن علينا أولا أن نخطط للبقاء على كوكب الأرض مادام هذا الكوكب موجودا. وسيكون علينا أن نقرر ماذا سنفعل لو أصبحنا مهددين بالارتطام بالمذنبات والكويكبات، أو غير ذلك من المخاطر الكثيرة التي يمكن توقعها خلال 250 دورة أخرى حول درب التبانة. وسوف يأخذنا هذا خلال سحب الغبار حيث تتشكل النجوم الجديدة من حطام النجوم القديمة، وحيث سنجد أنفسنا ذات يوم على مقربة من نجم متوهج فائق التوهج (سوبرنوفا)

أو نجد أن مدارنا قد اضطرب نتيجة اقترابه أكثر مما ينبغي من نجم ما آخر. فهناك العديد من الأشياء التي قد يحدث أي منها قبل أن تصبح الشمس عملاقا أحمر.

ويتعين أن يكون بإمكاننا، من أجل الاستعداد لمواجهة أمور كهذه، أن نغادر كوكبنا لنستعمر الفضاء.

إن الطيران عبر الأطلنطي كان يمكن أن يعد حلما مستحيلا بالنسبة لكولومبوس عندما أبحر عبر المحيط لأول مرة، أما الآن فإنه يحدث كجزء من إجازات يشارك فيها الملايين. وأنه ليبدو لي أن استعمار الفضاء بعد سنوات معدودة هو بمنزلة الاستنتاج الطبيعي لما يحدث اليوم. ونحن نعرف أننا يجب أن نفعل ذلك حتى نضمن البقاء.

وإذا استعمرنا عوالم أخرى فإننا سنجابه بالحياة بعد أن تموت شمسنا الجدة. وسوف نرى مجرات نجوم بأكملها وهي تفنى بينما الكون كله يتحرك بإصرار نحو نهايته هو نفسه. ذلك أن الكون لشيء حي، يتطور مثلما نفعل، لينتهي بالموت. وعلى هذا المدى من الزمان سنكون نحن أيضا قد تطورنا إلى أشكال جديدة. لقد انبثقت الحياة الحالية من جزيئات بسيطة في زمن يقل عن 4 بلايين سنة، وهكذا فإنه بعد خمسة بلايين سنة أخرى سيحمل أفراد سلالتنا البعيدة أقل شبه بنا مثلما نحمل أقل شبه بالأميبا الأولى.

والواقع أن حاجتنا إلى أن نغير شكلنا، إن لم تكن لمجرد أن نخرج بعيدا عن الأرض، فإنها ستزداد أهمية بمرور الوقت، ذلك أنه إذا كان الكون سيظل باقيا رغم أحداث الانقراض المفاجئة التي تأملنا فيها، فإنه في النهاية سيتقلص إلى سخونة أو يتمدد إلى برودة قصوى. وعظامنا وما يكسوها من لحم لن تظل باقية مع أي من هذين الحالين؛ أما ما قد يظل باقيا فهو بشر قد تحولت أشكالهم كما يفعل السحر. وقد درس العالم الأمريكي فريمان ديسون، من جامعة برنستون، هذا الموضوع، وسوف أصف بعض أفكاره في موضع آخر من هذا الفصل.

ولنبدأ بالأهم أولا، ونناقش السؤال التالي: ما الذي يمكن أن نفعله بشأن المشاكل الأكثر مباشرة؟ ثم بعدها نلقي نظرة على توقعات بقائنا في أعماق المستقبل.

الاستعداد للاصطدام

لعل الأمر أنه على المدى القصير سيكون علينا أن نواجه توقع ارتطامنا بأحد الكويكبات. ولقد اصطدمنا في الماضي بأجرام من حجم متوسط، بل وحدث ذلك في هذا القرن. ويبدو أن المستقبل لن يكون أقل تعرضا للمخاطر. وسوف نجد أنفسنا إن آجلا أو عاجلا في الطريق إلى الاصطدام مع وحش حقيقي. ما الذي يمكننا أن نفعله بهذا الشأن؟ إن الأبحاث التي أجريت بهذا الصدد قليلة إلى حد ملحوظ. ولعل من الصعب أن يعمل المرء فكره في شيء، وليس من الأمور الملحة في التو. ومع ذلك فهناك الكثير من المشاكل التي يجب تناولها والتي تهدد نوعنا بالفعل، ومعظمها نحدثه نحن بأنفسنا. وإذا كنا عاجزين عن التوصل إلى حلول بشأن كوارث فناء نحدثها لأنفسنا، فهل هناك أمل في أن نقوم بجهد جماعي ضد الانقراض الطبيعي؟

هل علينا إذن أن نفقد كل أمل؟ هل قدر للوجود البشري أن نكتة كبرى فحسب من نكات الطبيعة-نوبة وجيزة من الضوء ومن الوعي الذكي بالكون- تقع ما بين امتدادين هائلين للظلام؟ ها هنا يكون لسياسيي العالم دورهم الذين يسهمون به للإجابة عن هذا السؤال النهائي. والعلماء أيضا ينبغي أن يهتموا بمسألة الكوارث الطبيعية. وقد اقترح جوزيف سميث بجامعة شيكاغو أن يبدأ المجتمع العلمي دراسة تمتد 15 سنوات تدور حول توقي الاصطدامات مع النظر في فحص ما تكلفه هذه المهمة والنواحي العملية فيها.

وأول شيء نحتاج إليه في هذا الصدد أن نعرف عدد الكويكبات ومداراتها معرفة أفضل، وأن نكتشف كل الكويكبات الكبيرة التي لها مسارات تتقاطع ومع مسارنا. وينبغي إطلاق أقمار صناعية على نحو منتظم تحمل معدات قادرة على كشف أجرام أبوللو الكبيرة (الكويكبات التي تمر عبر الأرض) والمذنبات الجديدة. وتكون الاستراتيجية المتبعة في ذلك هي إجراء مسح سريع لتلك المدارات التي تكون الكويكبات أكثر احتشادا فيها، ويعقب ذلك حساب روتيني لمداراتها. وعلينا بعدها أن نرصدها ثانية فيما بعد للتأكد من أن هذه المدارات قد تم تحديدها تحديدا صحيحا. وسرعان ما سنتمكن بعدها من أن نذكر بدرجة كبيرة من الدقة إلى أين سوف تذهب ومتى يكون ذلك.

وبعدها، ومع تنامي خبرتنا، فإنه يمكن مد هذه الأبحاث لتشمل الأجرام الأصغر (فحتى الأجرام التي لا يزيد عرضها على 10 أمتار يمكنها أن تسبب ضربة لها خطرها). وسيكون من الصعب اكتشاف الأجرام الصغيرة البعيدة جدا في الفضاء. وبالتالي فإن الأمر سيحتاج إلى منظومة من التليسكوبات تغطي السماء.

وإنشاء الجدول الزمني للكويكبات أمر يدخل تماما في نطاق القدرات التكنولوجية الحالية. والأمر يتطلب إرادة فحسب. على أن ما يثير القلق «حقا» هو أن هذا الأمر يتطلب أولا يقظة في الوعي. وآمل أن يكون هذا الكتاب قد أوضح أن الأمر «هو» هكذا. وفضلا عن ذلك فإن القيام بهذا الأمر يمثل جهدا علميا له جدارته الذاتية، وسوف يحث على تطوير المعدات اللازمة، وهي معدات ستجد مجالات للتطبيق تتجاوز كثيرا الهدف الأصلي. لقد أنفقت بلايين الدولارات على إرسال بضع رجال إلى القمر؛ أما رصد الكويكبات فإنه عند مقارنته بذلك سوف يكلف القليل.

هذه إذن هي الخطوة الأولى، أن تعرف عدوك. أما الأمر التالي فهو أن علينا أن نفعل شيئا بهذا الصدد.

إن عالمنا هذا المفتون بالمبادرة الدفاعية «حرب النجوم» أصبح ينجرف بعيدا مع الهيمنة الكلية للتكنولوجيا. فمشكلة التعامل مع كتلة صغيرة تقترب منا هي مشكلة «بسيطة» وما علينا إلا أن نطلق عددا من الصواريخ المحملة بمعدات نووية-حرارية فنفجر الصخرة إلى فتات. وكما رأينا في الفصل الرابع فإن هوليوود قد اختارت هذا الحل في أحد أفلامها الكوارثية. على أن ذلك أمر بعيد الاحتمال تماما مثل بعد احتمال الاعتقاد القائل إننا نستطيع أن نبني درعا واقيا من أشعة الليزر والأسلحة فوق رؤوسنا وأن نعتمد على أنه سيعمل يوم الحاجة إليه بكفاءة 100 في المائة.

وربما أمكن تفادي ذلك الاقتراح «الفاوستي» بإطلاق وسائل نووية-حرارية لو أننا اكتشفنا أن الكويكب الذي يقترب منا في مدار لولبي إنما يدنو ببطء من مدارنا في دوائر متعاقبة. فسيكون لدينا عندئذ سنوات عديدة لنستقر على النهج الذي سوف نتخذه-ومجرد انحراف صغير في المسار سيكون كافيا لأن يجعلنا آمنين.

ومن بين المجالات الأخرى لجهلنا ما يتعلق بتكوين الكويكبات والمذنبات.

لقد أوضحت لنا بعثة جيوتو إلى المذنب هالي أمورا كثيرة عن المذنبات أكثر من كل ما عرفناه من قبل. فالمذنبات أضعف تأثيرا، واحتمال إثارتها لقلقنا أقل بالمقارنة بالكويكبات. أما الكويكبات فرغم أن أجزاء منها قد حطت على الأرض فإن معرفتنا بها وهي في حالتها الأصلية هي معرفة جد محدودة.

والواقع أننا نحتاج إلى بعثات منسقة تطير إلى مسافات قريبة من كل الكويكبات والمذنبات. ولقد أرسلنا روبوتات إلى المريخ، وبالتالي فبإمكاننا أن نهبط على أحد الكويكبات. وهذا ضروري إذا كان علينا أن نحدد خواصها. فنحن في حاجة، على سبيل المثال، إلى أن نعرف ما إذا كانت صلبة وجامدة أو سهلة التفتت، وهل هناك على السطح الكثير من رقائق من حجارة مكسورة؟ وهل هي هشة وعرضة لأن تتحطم اصطناعيا؟ وهل من السهل الطيران حول كويكب أم أن هناك سحابة من الحطام تخلق مخاطرا لفريق رواد الفضاء الذي ينوي التعامل مع الكويكب؟

تلك هي الكارثة الطبيعية الكونية الأكثر احتمالا، ونحن نستطيع أن نبدأ في معالجتها بوسائل غير معقدة نسبيا. فقط علينا ألا نكتفي بالجلوس في سلبية ونحن نترقب انقراضنا مادام لدينا إمكانات تطوير الوسائل التكنولوجية اللازمة للتعامل مع المشكلة. وبعض الخطط التي وضعت لمحاولة النجاة من الفناء النووي قد تنطوي على دروس تفيدنا فيما يختص بكارثة أرضية من نوع ما أناقشه هنا. فبعض الآثار الناجمة عن حوادث الاصطدام الهائلة ستكون مشابهة لتلك التي تنجم عن حرب ذرية تشمل الكرة الأرضية. والشتاء الذري الذي يسببه دخان المدن المحترقة في الحرب الذرية، قد يكون له مثيله أيضا في سحابة الغبار القادمة من أحد الكويكبات مثيرا الاضطراب في الغلاف الجوي. إن الغلاف الجوي للأرض يستغرق ما يزيد على عامين حتى يخلص نفسه من جسيمات رذاذ الإيروسول، وإذن فهذه أيضا هي الفترة التي سنحتاج إليها لتدبير نجاتنا هنا. والسويسريون لديهم خطة قومية هي مثال جيد يبين لنا من أين نبدأ. فمن المحتم أولا أن يكون لدينا ملاجئ تحت الأرض لكل الأفراد تخزن فيها دائما إمدادات من الطعام وغير ذلك من الضروريات بما يكفي لعامين.

على أن احتمال اشتعال حرب نووية، على المدى القصير، أقرب إلى حد

ما من احتمال الاصطدام بكويكب، ولما كان عدد من يخططون بجدية للنجاة من الحرب النووية هو عددا قليلا جدا، فإنه ليس هناك أمل كبير في أن توضع هذه الأفكار موضع التنفيذ. وأنا أسجل الحقائق فحسب على أمل أن يهتم الناس بها في النهاية اهتماما يكفي للتصرف على أساسها.

عوالم جديدة

قد نتعلم كيف نتعامل مع الكويكبات والمذنبات والكوارث الأخرى الطبيعية، لكننا سيكون علينا إن آجلا أو عاجلا أن نغادر هذا الكوكب، فالشمس سوف تصبح في النهاية عملاقا أحمر ويجب أن ننطلق بأنفسنا إلى ما وراء المدى الذي ستدمره. وإذا واصلنا العيش على مقربة من الشمس المتضخمة فسيكون علينا أن نكيف مصادر إمدادنا بالطاقة مع الظروف الجديدة. فربما سيتعين علينا أن نذهب لنستعمر منظومة نجمية أخرى، أو حتى أن نهجر المجرة إذ تفنى النجوم أو تتقلص للداخل لتشكل ثقبا أسود هائلا. وهناك احتمالات أكبر بأن نكون قد دمرنا أنفسنا في حرب نووية-حرارية أو بالتلوث الصناعي قبل أن تتاح لنا الفرصة لنرى ما هي حدود إنجازاتنا التكنولوجية.

ورغم هذا فإن علينا أن نصنع البداية. وليس من الواقعي أن نخطط لمستقبل جد بعيد، ولكن الخطوة الأولى قد تم اتخاذها بالفعل عندما وقف أرمسترونج فوق القمر. وهناك أفراد كثيرون ممن يعيشون اليوم قد ولدوا قبل وجود خطوط الطائرات التجارية، وهم الآن يرون مغامراتنا في الفضاء. وفي خلال عقد من السنين بعد أن أذهلنا يوري جاجارين وجون جلين في رحلات دورانهما الرائدة حول الكوكب، وصلنا إلى مرحلة لم تعد فيها الرحلات إلى القمر من الأحداث المثيرة لوسائل الإعلام. وبحلول عام 1986 أصبح الأفراد العاديون تحجز لهم المقاعد في مكوك الفضاء وكأن الجبهة الجديدة قد تم قهرها بالفعل.

على أن كارثة المكوك تشالنجر قد جعلت أناسا كثيرين يتشككون في العلم والتكنولوجيا، وكأنما قد قضي على البشر أن يظلوا مربوطين للأرض وأنهم إنما يتحدون قدرهم عندما يحاولون الطيران. ومع ذلك فقد شهدنا في الشهر نفسه نجاح مهمة سفينة الفضاء فوياجير التي طارت حسب

التعليمات عبر أورانوس، وأرسلت صورا من نقطة على الحدود الخارجية للمنظومة الشمسية، وهو أمر كان يعد مستحيلا منذ عشرين عاما. ولأول مرة يتم بتعاون دولي إرسال مجموعة من الصواريخ لتلتقي بالمذنب هالي.

ولا شك أن تكنولوجيا ارتياد الفضاء وتطويره موجودة بالفعل. فهل يتمثل الحافز الأفضل لأبحاث المستقبل حقا في أن نبث الليزر والمرايا في الفضاء لأهداف عسكرية؟ إن اللاجئين من الحروب يستطيعون حتى الآن أن يهربوا إلى بلاد أخرى. فأين يكون المكان الذي يستطيع أن يتوارى فيه لاجئ من حرب نووية-حرارية عالمية؟ إلى أين نذهب حين يتم تلويث الهواء بعوادم السيارات، وتدمير الأشجار لصنع ورق السجائر (والكتب) وتصبح الحياة مستحيلة تماما في البيئة الصناعية؟ سيكون علينا في مرحلة ما، قريبا جدا، أن نبدأ التفكير في ذلك تفكيرا جديا.

إن كتاب روايات الخيال العلمي يعرفون الإجابة: لقد جعلونا نسكن في كواكب أخرى، وكويكبات، ومحطات فضائية بنيت لهذا الغرض. وفكرة بناء مستعمرات فضائية نظر فيها بعض العلماء نظرة جدية، وفي مقدمة هؤلاء جيرارد أونيل بجامعة برنستون. وقد بدأ مشروعه في 1969 كحافز لمقرر فيزياء كان يدرسه في الجامعة وبالتدريج أصبح واضحا أن الفكرة معقولة وأن التكنولوجيا المطلوبة لها متاحة في معظمها.

وقد كتب أونيل عن أفكاره ببعض التفصيل في مجلة «الفيزياء اليوم» (سبتمبر 1974) وفي كتاب «الجبهة العالية» (جوناثان كيب 1976) ومن ثم فسوف أستعرض أفكاره بإيجاز فحسب.

يحتاج الناس إلى الهواء والماء والأرض والجاذبية والطاقة حتى يواصلوا عيشهم. ونحن نستطيع أن نحصل على ذلك كله لو عشنا داخل أسطوانات هائلة، طولها أميال عديدة وقطرها بضعة أميال. وهذه الأسطوانات تلف بحيث نكون مضغوطين إلى الأرض كما في جهاز طرد مركزي-وإن كنا سنحس بتأثير ذلك وكأنه تأثير الجاذبية. وستزودنا أشعة الشمس بالطاقة، بما يكفي لإشباع حاجاتنا بما يزيد على عشرة أمثال استهلاكنا الحالي. ومن الممكن في الأسطوانات التي تبالغ هذا الحجم أن نبني المدن والحقول والغابات، بل وحتى الجبال، بما يعطي منظورا أرضيا وبما يقلل من الإحساس النفسي «بالحنين إلى الوطن».

وتتمثل إحدى العقبات الرئيسية التي تواجه السفر في الفضاء في الانطلاق بعيدا عن الأرض. ويمكن في هذا الصدد أن نقارن بين الصواريخ الضخمة التي أرسلت ملاحي السفينة أبوللو إلى رحلتهم وتلك السفن الصغيرة التي ارتفعت بهم بعدها من فوق سطح القمر، فجاذبية القمر جد ضعيفة بحيث يمكن لأي فرد أن يصبح هناك بطلا للوثب العالي. ويمثل القمر بذلك منصة إطلاق مثالية لمغامرات الفضاء. وفوق ذلك فإن القمر غني بالمعادن التي يمكن استخراجها ورفعها في الفضاء لبناء المستعمرة. أما على المدى الطويل فسوف يمكن أيضا استخراج المعادن من الكويكبات. واستخدام المواد من الفضاء الخارجي يعد وثبة كبيرة. وحتى الآن، تعتمد بعثات الفضاء اعتمادا كليا على الإمدادات المجلوبة من وطننا الأرض، مثلما كان يفعل المسافرون الأوائل في البحار. ثم إنهم بعدها وصلوا إلى الأراضي الجديدة، واكتشفوا أشياء جديدة واستثمروا اكتشافاتهم. وهذا هو ما يمكن أن يحدث في الفضاء. وأكبر عامل تحرير لنا سيكون استخراج المعادن من المنظومة الشمسية.

إذن كيف تكون البداية؟

ينبغي أن يكون متاحا بالفعل بناء نموذج أولي نصف قطره 100 متر وطوله نصف الميل. ويمكن أن يعيش على هذا النموذج عدد من السكان يصل إلى بضعة آلاف! وإذ تلف الأسطوانة كل 20 ثانية فسوف ينتج عنها تأثير يماثل جاذبية الأرض. ويمكن للتكنولوجيا الحالية أن تجهز أسطوانة نصف قطرها أربعة أميال وطولها 20 ميلا بما يمكن أن يتسع لسكنى 1- 20 مليون فرد كأقصى حد بيئي. وسيكون الجو مماثلا للجو على الأرض على ارتفاع ميلين، وبالتالي فلن يحتاج إلا لأقل تأقلم، ولكنه سيكون صحيا تماما كما يشهد بذلك متسلقو الجبال. وستكون السحب مماثلة لتلك التي نراها في يوم من أيام الصيف.

والواقع أنه لو كان لديك أسطوانتان تدوران في اتجاهين متضادين فسيكون بإمكانهما الاحتفاظ باتجاههما، وهما تدوران حول الشمس. وسطح كل أسطوانة ينقسم إلى مناطق أرض وإلى نوافذ. ولما كان محور الأسطوانة متجها إلى الشمس فإنك لا تستطيع أن ترى ضوء الشمس مباشرة من

خلال النوافذ. وليس هناك جو خارجي ليحدث استطارة في الضوء Scatter ويجعل السماء زرقاء. وهكذا فإنك سوف تحتاج إلى مرايا في الخارج تعكس ضوء الشمس من خلال النوافذ.

وتدور المرايا مع الأسطوانات. وتستطيع أن تزيد أو تقلل من كمية الضوء بأن تفتح أو تغلق أغطية فوق المرايا. وهكذا فإنه يمكن التحكم في طول الليل والنهار للتحكم في متوسط درجة الحرارة داخل الأسطوانة ولمحاكاة الفصول.

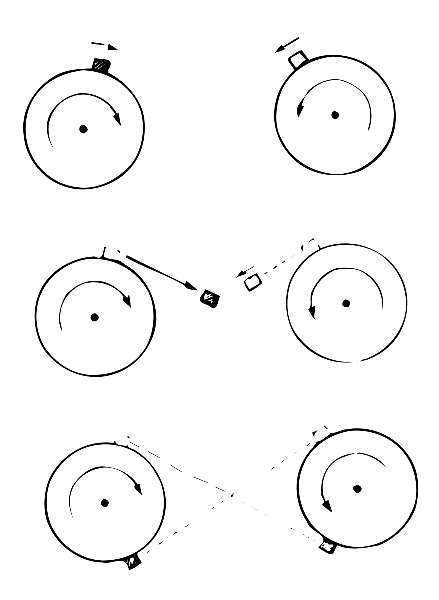
وتوضع محطات قوى شمسية عند الطرف الشمسي من الأسطوانة، بحيث تتلقى أقصى قدر غير محجوب من الإشعاع. وتنتج هذه المحطات قدرا من الطاقة يكفي الأسطوانات المسكونة، ويكفي أيضا الأسطوانات الزراعية المصاحبة لها.

والمناطق الزراعية تحيط بالأسطوانة الرئيسية. والمناخ فيها يمكن توزيعه على الفصول بحيث يكون هناك دائما إمدادات طازجة من المحاصيل المختلفة. وتصميم هذه الأسطوانات يمكن أن يكون عمليا أكثر، فليس هناك حاجة إلى تضمين وسائل مساعدة «سيكولوجيا» من باب تقليد ملامح الأرض.

لقد عالجت الفصول الأولى من هذا الكتاب مخاطر الاصطدامات. ومستعمرات الفضاء ستكون أكثر تعرضا لهذه المخاطر لأنها ليس لها درع من هواء خارجي يحرق الحجارة، وهي من ناحية أخرى هدف أصغر كثيرا من الأرض. والشهب في معظمها مذنبية، وهي كرات ثلج أكثر منها صخرية. واحتمال الارتطام بكتلة من طن واحد هو احتمال واحد كل مليون سنة. والقطعة التي تزن 100 جم سوف ترتطم مرة في كل ثلاثة أعوام في المتوسط، على أن سفن الفضاء المصممة تصميما جيدا ستكون قادرة على التعامل مع ذلك.

والانتقال داخل الأسطوانة يمكن أن يتم بوساطة الدراجة أو عربات تسير بقوى كهربائية لا تؤدي إلى التلوث، وفي حدود مسافات مداها عدة أميال فحسب لن تكون هناك حاجة إلى أكثر من هذا. وسيتضمن السفر ما بين الأسطوانات استخدام سفن بلا طاقة تستخدم الدوران الطبيعي للسطح ليطلقها في طريقها. والسطح يتحرك بسرعة تقرب من 400 ميل في

الساعة. ولو أنك أطلقت سفينة على الحرف الخارجي فإنها ستنطلق لتطير في خط تماس عبر المسافة ما بين الأسطوانتين بسرعة طائرة نفاثة. وإذ تتدلى لأسفل الأسطوانة الأخرى فإنها ستتمكن من أن ترسو عند سرعة الصفر النسبية-مثلما تمر كرة بين عصاتين من مضارب لعبة لاكروس(*) (انظر شكل 13-1).



شكل (13-1) الانتقال ما بين أسطوانتين تدوران. الأسطوانة التي إلى اليسار تدور في اتجاه عقارب الساعة. والعربة (الصندوق الذي على القمة) ترحل عند سرعة الصفر النسبية على السطح، وهي سرعة كبيرة جداً بالنسبة إلى مركز الأسطوانتين، وتصل المركبة إلى الأسطوانة الأخرى التي تدور في اتجاه ضد عقارب الساعة، ويتم الإمساك بها وهي عند سرعة الصفر النسبية مرة أخرى.

ويمكن أن يعيش داخل سلسلة من الأسطوانات تنفصل عن بعضها البعض بمسافة 100 ميل عدد من السكان أكبر في مجموعه من عدد سكان الأرض حاليا. ويمكن لأصحاب الثقافات المختلفة أن يشغلوا حسب الرغبة

(*) لعبة لاكروس Lacrosse لعبة تمارس على ملعب أرضه من النجيل، ويستخدم المشاركون فيها مضارب ذات مقابض طويلة للإمساك بالكرة، أو حملها، أو تسديدها إلى مرمى الخصم. (قاموس وبستر).

أسطوانات مختلفة، والواقع أن الإمكانات المتاحة أمام إجراء التجارب الاجتماعية لهي مما يتجاوز أي تقييم حاليا. ويأمل أونيل أن تقل «الحاجة» إلى الصراع والحرب. فمن المؤكد أن الضغوط من أجل الأرض وتحسين أسلوب المعيشة ستكون أقل مما على كوكب الأرض، وإن كنت على نحو ما أشك في أن يكون المجتمع البشري على مثل هذه الاستقامة. وقد تحدث مشاكل سيكولوجية غير متوقعة يصعب التغلب عليها. ففي الخمسينيات، على سبيل المثال، كان هناك اعتقاد في أن مباني الأبراج العالية سيكون فيها الحل الأمثل لإزالة الأحياء الفقيرة. ولكنها واجهت من المشاكل ما كان غير متوقع؛ فكان الكثير من السكان يفضلون لو أنهم ظلوا باقين في الظروف غير الصحية التي «حرروا» منها. فهل سيحدث أننا سنعيد اكتشاف مشاكل العزلة في شقق الأبراج العالية؟ الواقع أننا نفهم الطبيعة البشرية فهما جد متواضع هنا على ظهر الكوكب بحيث يصعب أن نستقرئ من ذلك ما سينطبق على بيئة جديدة تماما.

ويمكن لعربات معلقة أن تنقل الناس ما بين الأسطوانات في ساعات معدودة. وليس من قيود تتعلق بالديناميكا الهوائية، وبالتالي فان هذه العربات يمكن أن تكون واسعة مريحة، تختلف تماما عن ظروف ضيق طائرات الخطوط الجوية الحديثة. والعربات الخارجية التي تندفع من سطح أسطوانة إلى الأخرى يكون تشغيلها سهلا جدا بحيث ينبغي أن تكون الرحلات العائلية إلى المجتمعات البعيدة أمرا متاحا. أما الرياضات الملوثة للبيئة مثل سباق السيارات فمن الممكن إجراؤها في مواقع خاصة. وقد تنبثق أنواع جديدة من الرياضة مثل الطيران باستخدام القوة البشرية. فالجاذبية الفعالة داخل الأسطوانات ناتجة من سرعة لفها، وهي تقل إذا صدت من السطح تجاه محور الأسطوانة (عند هذه النقطة تختفي الجاذبية). وهكذا فإنك تصبح أخف عندما تتسلق الجبال ويمكنك أن تطير عندما تكون مرتفعا.

ومن حيث المبدأ فإن بإمكاننا أن نبني هذه السفن وأن نضعها حيث نشاء. أما عند التطبيق فمن الواضح أنها ينبغي أن تكون في مدى يسهل الوصول إليه من الأرض والقمر. وهذا أيضا في مدى بعدنا «الطبيعي» عن الشمس. وعلينا أن نتجنب أن يحدث لنا خسوف بوساطة هذه الأجرام الطبيعية بأكثر مما ينبغي لأن إمدادنا بالطاقة يعتمد على ضوء الشمس.

ويجب أن تكون السفينة ثابتة بالنسبة لزحزحة موضعها في أبعاد المكان الثلاثة. والشمس والقمر يسببان أمواج مد وجزر على الأرض لها أهميتها، فإذا أتينا بالأرض أيضا إلى هذا النظام، فسيكون هناك خليط معقد من القوى يعمل على سفينة الفضاء. وقد تم حديثا الوصول إلى المعادلات التي تحل ذلك، ومن الممكن أن نجعل السفن ترسو عند مواقع خاصة مختلفة في جيرتنا بحيث تدور معنا حول الشمس بينما تقوم برحلات تصل إلى بضع عشرات الآلاف من الأميال. وعلى المدى البعيد سيكون من الممكن من حيث المبدأ أن توضع عدة مستعمرات في مدارات كهذه.

وإذن هيا نبدأ البناء.

إذا كان لدينا مواد من القمر فإنه يمكننا استغلال جاذبية القمر المنخفضة لرفع الأشياء عاليا بسهولة إلى مكان الإنشاء. والواقع أنه يمكن تجميع المكونات مسبقا في القمر. وهناك وفرة من المواد المؤكسدة على سطح القمر يمكن استخدامها للإمداد بالأكسجين من أجل الماء.

إن الكتلة الكلية لمحطة النموذج الأولى تصل إلى نحو 500 ألف طن. ونحن نحتاج إلى الألمنيوم والتيانيوم والسيليكون والأكسجين، ويمكن الحصول على 98 في المائة من هذه العناصر من القمر. فإذا أضفت النترات والعناصر النادرة إلى تربة القمر يصبح لديك قاعدة أرض زراعية قابلة للنماء. وبهذا يتبقى ما يقرب من 10 آلاف طن من مواد تجلب من الأرض، وهي مهمة هائلة ولكنها ليست مستحيلة بالضرورة.

ومقياس هذا المشروع بلغة نسبية لا يختلف جوهريا عن الملاحة حول الأرض في العصور الوسطى، وعن مشروعات الاستعمار العظمى في القرنين السابع عشر والثامن عشر. وهو من الناحية التقنية مشروع عملي، على أن يتم الالتزام به مثلما تم الالتزام ببرنامج القمر في الستينيات. وفيما يبدو لي فإن المشكلة الرئيسية هي مشكلة سيكولوجية. فمن الذي سيقرر: من الذي ينبغي أن يذهب ليستعمر أسطوانات الفضاء؟ هل لن يرغب أحد في الذهاب هناك أو أن كل واحد سيرغب في مغادرة الأرض الملوثة، بما ينتج عنه ظهور قائمة انتظار وصدور قرارات عن الأولويات تثير الشقاق؟ أخشى أن الاحتمال الأول هو الأقرب إلى الحقيقة، على الأقل في بداية الأمر. على أن هذا قد لا يكون أمرا سيئا. ففي المرحلة الأولى لن يكون النموذج

الأولي مما يسهل السكن فيه إلا لمتخصصين ملتزمين، أما المستعمرات «الحقيقية» فستأتي بعد ذلك مع الخبرة المكتسبة.

وقد قدرت مقالة أونيل في عام 1974 أنه يمكن الانتهاء من تجهيز النموذج الأولي للمحطة للاستخدام بحلول 1988. على أن ذلك العام حل دون علامة على إنجاز شيء ما حتى الآن. وكل ما لدينا للحث على التكنولوجيا العالية هو ما يسمى «بالعلم الكبير» big science، وهو ما بدأت إنجلترا على الأقل أن تشك في قدرتها على تحمل تكلفته، مع الإسراف في النفقات الحربية كما في مبادرة الدفاع الاستراتيجية لحرب النجوم.

ونحن يقينا نستطيع أن نتصرف تصرفا أفضل من ذلك. بل ويجب أن نفعل!

حياة المستقبل

ظل الكون موجودا حتى الآن طيلة عشرين بليون سنة. وقد نشأ الجنس البشري منذ مليون سنة لا غير، وهو زمن تافه يساوي جزءا من عشرين ألف جزء من كل هذا المدى. ولو شبهنا مدى الزمان من الانفجار الكبير حتى الوقت الحالي بسنة كونية، فإن الحياة البشرية تكون قد نشأت أثناء آخر نصف ساعة في ليلة رأس السنة الجديدة.

فكل الجنس الذي نحن في قمته، قد بدأ فحسب خلال فترة بعد الظهيرة الأخيرة؛ وأول الثدييات الرئيسية لم تصل إلا خلال آخر يوم؟ وأول الثدييات بعامة نشأت أثناء الأسبوع الأخير؛ وأول الحشرات بدأت فحسب أثناء الأسبوعين الأخيرين. ولم تكن هناك أي حياة على الأرض على الإطلاق أثناء كل الربيع والصيف والخريف. وأول كائن حي من خلية واحدة بدأ ينشأ فحسب في نوفمبر من تلك السنة الكونية ثم حدث في الأيام الأخيرة من الشتاء تفجر الكائنات في طبقات وأشكال.

إننا عندما ننظر إلى الكون في هذا الإطار الزمني المضغوط فإننا نرى بصورة درامية كيف نشأت البنيات البيولوجية المعقدة نشأة سريعة سرعة قصوى. ولو نظرنا الآن إلى المستقبل فلربما استطعنا فحسب أن نتخيل ما هي الإمكانات الموجودة بالنسبة لأشكال الحياة التي ستأتي فيما بعد.

إن الكون يتطور ويتمدد ويبرد. ولو استمر على ذلك فإن الكوارث المختلفة

ستبدأ في الحدوث بعد 10 سنة (أي بعد مليون سنة من الآن-انظر الفصل الحادي عشر). وفي النهاية فإنه يمكن توقع أن تتآكل المادة نفسها، ولعل ذلك أن يكون على مدى زمني يصل إلى 3010 سنة. هب أن الكون له عمر بهذا الطول، فأين نكون نحن الآن؟

لو أننا شبهنا كل حياة الكون بمقياس عمر الإنسان الممتد لمائة سنة، فإن الحياة حتى وقتنا الحالي ستكون مناظرة لجزء من الثانية بعد الحمل.

هب أن كل ما نعرفه عن الحياة هو وجود البويضة التي تشكلت حديثا، فهل سيمكننا تخيل الجنين والطفل والإنسان البالغ؟ من المؤكد أن خيالنا لن يصل إلى أن يعمم إلى هذا الحد. والنوع الإنساني Homo Sapiens هو بالمقياس الكوني شبيه بتلك البويضة التي تشكلت بالكاد. وإذا افترضنا أننا سوف نتمكن من أن ننجو من العقود النووية المعدودة التالية، فما الأشكال التي سوف تنشأ بعد مرور دهور من الزمان؟ أعتقد أنه بهذا المقياس، وإذا أخذنا في الاعتبار معدل السرعة التي حدث بها التطور حتى الآن، فإننا يمكننا أن نفترض أن كل ما هو ممكن من حيث المبدأ سوف يحدث في التطبيق. فإلى أين يقودنا هذا؟

إن مجرد التفكير في هذا الأمر على أي نحو جدي فيه افتراض مسبق بأننا نعرف ما تكونه فعلا «الحياة» ذات الوعي. وهي إذا كانت لا تزيد فحسب على تجمع معقد لبعض الجزيئات فإنه قد يصبح من الممكن أن يتم تحويل أشكال الحياة في المستقبل.

فلنتخيل مستقبلا يكون علم البيولوجيا والتكنولوجيا متقدمين فيه بدرجة تكفي للتمكن من صنع خريطة كاملة لك على المستوى الجزيئي أو حتى على المستوى الذري. سيكون تركيبك معروفا بالضبط بلغة ذرات الكربون والكالسيوم والأكسجين وما إلى ذلك. والطريقة التي تتركب بها هذه الذرات معا، وكل ما يحددك «أنت» بلغة من الجزيئات العضوية التي تؤلف مخك، هذا كله يوضع بقائمة داخل نوع فائق من الكمبيوتر. وبالتالي تصبح هناك «طبعة زرقاء»(*1) وصورة تصميم هندسي. لبنائك «أنت».

والآن نحن في حاجة إلى ماكينة معقدة يمكنها أن تذهب إلى بنك كيماوي وتختار بضعة آلاف من بلايين بلايين ذرات الكربون، وعدد مماثل

(*1) الطبقة الزرقاء blue prints صورة الرسم أو التصميم الهندسي أو المخطط التفصيلي.

من النيتروجين وما إلى ذلك، ثم تجمع الذرات معا حسب طبعة التصميم الزرقاء. والواقع أن الأمر سيكون أقل تعقيدا من ذلك، حيث إن البنوك تختزن جزيئات مجمعة مسبقا بدلا من الذرات المكونة المفردة. وفي النهاية فإن الماكينة سوف تركب كل هذه الجزيئات معا وذلك بالضبط حسب نفس اتحادها معا كما توجد في «أنت» الحقيقي. ترى هل ستعتقد هذه المجموعة الجديدة من الجزيئات أنها هي أنت ؟ إذا كان الوعي هو بالكامل نتيجة بنيات كيماوية، فإنه يمكن إذن افتراض أن هذه المجموعة الجديدة سيكون لها، في ذلك المثال الذكريات والأفكار نفسها التي كانت لك عندما صنعت طبقة التصميم الزرقاء.

وإذا كان هذا صحيحا، فإننا سوف نتمكن من أن نبخر أحد الأفراد إلى الجزيئات المكونة له ثم نعيد تجميعها في مرحلة تالية. وإذا جمعنا قطع الصورة المتناثرة بأمانة كما كانت قبل عملية التبخر مباشرة فإننا سنحصل على الصورة الأصلية نفسها، أي أن الشخص نفسه سيوجد ثانية، وهو فيما يفترض لن يعي أن أي شيء غير موات قد حدث له.

وما أن يمتلك فرد «النوع الإنساني» القدرة على أن يختزن ويعيد بناء الجزيئات البيولوجية الجوهرية فإنه سيتحرر من شكل الجسد البشري. وسوف يمكنه اتخاذ أي شكل يرى أنه يلائمه بأفضل. وفي كون يشيخ ويبرد إذ تموت النجوم وتفنى موارد الطاقة، فإن أشكال الحياة التي تظل باقية هي تلك التي تستطيع أن تكيف نفسها بصورة أفضل مع متطلبات طاقة منخفضة.

وقد فكر فريمان ديسون كثيرا في مدى قابلية هذه الأمور للتحقق الواقعي، وبين أنه ليس فيها أي مما ينتهك أي قانون معروف في الطبيعة، فالطبيعة من حيث المبدأ قد تسمح تماما بأن يحدث ذلك؛ وفي ذلك وجود نطاقات زمانية تمتد لأحقاب أطول بلايين المرات مما عشناه، أفلا يكون من المعقول أن نفترض أن التكنولوجيا سوف تحول هذه الأفكار إلى واقع عملي؟ وكما يقول ديسون: «إننا لا يمكننا تخيل بنية خلية حية من البروتوبلازما ما لم نر إحداها». وعلى المنوال نفسه ما كنا لنستطيع تخيل الطفل المولود حديثا إذا كان كل ما رأيناه هو بويضة غير منقسمة، ومن ثم فإننا لا نستطيع التنبؤ بالأشكال التي ستتخذها الحياة بعد بليون سنة أخرى.

وهذا يعود بنا ثانية إلى سؤال «ما الحياة؟»، ولست أقصد هنا ما يعطي الحياة «قوتها الحيوية»، وإنما أقصد ما الذي يعرف الحياة؟ إننا أيا كان الأمر نستطيع أن ندرك ما إذا كانت الأشياء «حية» وبالتالي فإن لدينا نوعا من الحدس بما تكونه الحياة. على أن الأمر الأكثر تعلقا بتأملاتنا بشأن المستقبل على المدى البعيد إنما يتمثل في الحياة «الذكية».

إن علماء الكمبيوتر يطورون حاليا ما يسمى الآلات «الذكية». وحتى نعرف ما إذا كانت الآلة «ذكية» أم لا فإننا نخضعها «لاختبار تورنج». (كان ألان تورنج رياضيا عبقريا مات عام 1954 وعمره لم يتعد 41 عاما. وقد لعب دورا مبرزا في إنشاء الكمبيوترات الحديثة وهو مبتكر الاختبار المسمى باسمه).

تصور أنك تجلس إلى شاشة كمبيوتر في إحدى الحجرات وتستخدمه للاتصال بكمبيوتر آخر يديره شخص لا يرى في غرفة أخرى. وأنت تضع أسئلة عند شاشتك وتتلقى إجابات من الغرفة الأخرى. هل يمكنك أن تعرف من الإجابات إذا كان الذي في الغرفة الأخرى شخصا حقيقيا-أي كائنا ذكيا-أو أنه ماكينة في الغرفة؟

وإذا كنت تلعب معه الشطرنج وكنت لاعبا ماهرا إلى حد معقول فإنك قد تقرر سريعا أنك تلعب مع ماكينة، أو مع لاعب غير ماهر! أما الآن وقد أصبحت كمبيوترات لعب الشطرنج تعمل على مستوى معقد فقد يكون من الصعب أن تتخذ قرارك. وإذا كان من المستحيل أن تقرر بالتخمين ما إذا كنت تتعامل مع كمبيوتر أو مع أحد الأفراد، فإن الغرفة الأخرى تحوي إذن مصدرا ذكيا. والآلة التي تجتاز هذا الاختبار يقال عنها إنها آلة ذكية.

وهذه الأفكار عن الكمبيوترات يمكن أن ننقل مجال تطبيقها إلى عالم المنظومات البيولوجية، ويمكننا أن نتخيل الكائن الحي كنوع من الكمبيوتر الذكي. وبلغة الكمبيوترات، فإن الكمبيوتر هو الجهاز نفسه hardware والبرنامج هو الحزم البرامجية soft ware. وفي المثال البيولوجي، فإن الإنسان هو «برنامج» قد صمم ليعمل على نوع معين من الأجهزة-هو الجسم البشري. والمعطيات مدخلة في شفرة في مخزن من نوع خاص هو جزيئاتD.N.A والخلايا العصبية. وهكذا تصبح «الحياة» مكافئة لـ«معالجة المعلومات» information processing.

وإذا كنا فحسب مجرد برنامج ذكي قادر على اجتياز اختبار تورنج، يصبح من الممكن إذن أن يتم تشغيل هذا البرنامج على نوع مختلف من الأجهزة. تلك إلى حد ما هي الطريقة التقنية لذكر ما سبق أن ناقشناه، أي على وجه التحديد إذا كنا سنتمكن من إعادة تجميع الجزيئات البيولوجية الجوهرية في أشكال جديدة لا تشبه البشر حاليا؟

على أن طريقة تورنج لطرح المشكلة تذهب إلى ما هو أبعد من ذلك. فهي تثير ضمنيا السؤال المتعلق بما إذا كنا سنحتاج أصلا إلى ذرات الكربون وإلى الجزيئات. فلعل حضارتنا وحياتنا نفسها، بمعناها كمكافئ لعملية المعلومات، يمكن أن تستمر مع استخدام أشكال من المادة تختلف تماما عن تلك التي تعودناها. والحقيقة أنه إذا كان الكربون والبروتونات المكونة له تنتهي بالتآكل كما ناقشنا في الفصل الحادي عشر، فإنه سيأتي وقت لن يحوي الكون فيه هذه المكونات الجوهرية. وعلى ذلك فحتى إذا اخترع أفراد سلالتنا التكنولوجيا اللازمة فسيظل هناك السؤال عما إذا كنا سنتمكن «نحن» من البقاء «من حيث المبدأ».

فسوف نحتاج أولا، حتى نبني هذا النظام، إلى استغلال أي مادة تتبقى في الكون الذي يموت. كما سيتعين أيضا أن تكون هناك طاقة كافية لتشغيل هذا النظام. وإذا كان من الممكن في المستقبل معالجة قدر لا حد له من المعلومات، فإن «الحياة» يمكن أن تبقى للأبد. وفي كون يتمدد ويبرد قد يكون من الممكن حقا الوفاء بكل الشروط المقيدة وأن نبقى.

إن وحدة التخزين في الكمبيوتر تسمى «بايت» bit (وهذا المصطلح هو اختصار لكلمتي «binary digit» الرقم الثنائي، وهو يستخدم للتعبير عن قدرة الكمبيوتر على اختزان ما هو نتيجة للاختيار بين بديلين اثنين). ومعالجة المعلومات تتطلب التعامل مع عدد وحدات البايت لكل ثانية وقوانين الطبيعة، وخاصة في الديناميكا الحرارية، تحد من سرعة معالجة المعلومات. ففي درجة حرارة الغرفة، يكون من المستحيل أن تزيد السرعة على 10^{21} بايت لكل وات من الطاقة في الثانية الواحدة. والكمبيوترات الحديثة محدودة تماما بهذا القيد-والكمبيوترمن نوع IBM الشخصي سرعته 10^{8} بايت، والكمبيوتر الفائق من نوع CRAY سرعته لا تتعدى 10^{10} بايت في الثانية لكل وات.

والآن هيا ننظر في مسألة الماكينة البشرية. إن الفكرة عند الإنسان، لحظة الوعي، تبقى لنحو ثانية واحدة. وكل منا يبث ما يقرب من 200 وات من الطاقة عند درجة حرارة الغرفة (بما يشبه لمبة نور). وهكذا فإن أقصى سرعة لدينا هي 10^{23} بايت (10 بايت مضروبة في 200 وات). والإبقاء على مجتمع ذكي عدد أفراده بليون فرد يتطلب ما يقرب من 10^{33} بايت. وذلك هو الهدف الذي يجب أن نفي به على نحو ما.

وممارسة عملية معالجة المعلومات تولد حرارة فاقدة. ويزيد ما يتم أيضه كلما تطلب الأمر المزيد من وحدات البايت وكلما ارتفعت أكثر. ونحن الآن نعيش على درجة حرارة الغرفة؟ ولعل أشكال الحياة في المستقبل سوف تتمكن من اختيار درجة الحرارة التي تكون الدرجة المثلى لها. وكلما قلت درجة الحرارة قلت الحرارة الفاقدة. على أنك يجب ألا تصل إلى درجة باردة أكثر مما ينبغي، فيجب أن تكون عند درجة أعلى من درجة الحرارة التي تكتنف الكون أي حرارة إشعاع الخلفية الكونية الميكروويفية (وهي حاليا-270 درجة مئوية) ويجب أن تكون قادرا على أن تشع بعيدا الحرارة الفاقدة التي تتولد من الأيض.

وجسيمات المادة التي يحتمل أكثر الاحتمال أن تبقى على المدى الأبعد ستكون الإلكترونات. والإلكترونات تشع طاقة كهرومغناطيسية؛ أي الضوء والحرارة وموجات الراديو. وتحد الطبيعة من معدل السرعة التي يمكن أن يحدث بها هذا الإشعاع. وهكذا فإنه حتى تستمر الحياة يجب على المخلوق أن يبث من أيضه حرارة فاقدة قدرها أقل من الحد الأقصى الذي يمكنه أن يشعه بعيدا. والبيات الشتوي يمكن أن يساعده على البقاء داخل هذه الحدود. ويمكن للحياة أن تقوم بعملية الأيض على فترات متقطعة بينما تستمر أثناء البيات الشتوي في إشعاع الحرارة الفاقدة بعيدا.

إن وعي المخلوق الذاتي بالزمان يعتمد على سرعة أيضه. وهذا الزمان الذاتي قد يكون على أدنى علاقة بالزمان «الواقعي». وقد حلل فريمان ديسون تأثير هذا البيات الشتوي واستنتج أنه رغم أن الساعات البيولوجية ستدور بصورة أبطأ، وتأخذ في العمل ثم تتوقف إذ يتمدد الكون ثم يبرد، فإن الزمان الذاتي ربما سيتواصل أبدا. وفضلا عن ذلك فإن قدرا «متناهيا» من الطاقة سيكون مطلوبا للبقاء لما لا نهاية. وما بين الآن والنهاية اللاأبدية،

فإن مجتمعا له تعقد الجنس البشري لن يستخدم من الطاقة إلا قدر ما تشعه الشمس في 8 ساعات. وهكذا فإن مشكلة احتياطي الطاقة تصبح أمرا تافها. ويمكن للاحتياطي الموجود في إحدى المجرات أن يبقى على مجتمع أكثر تعقدا عن مجتمعنا ببليون بليون مرة.

وهكذا فإنه لا يوجد حتى الآن من حيث المبدأ أي شيء معروف في الفيزياء يمنع أن يحدث ذلك. أما تكنولوجيا أشكال الحياة وطريقة بنيانها فهذا أمر أقل تأكدا. وأحد الملامح التي ستكون مطلوبة هو الذاكرة-فمن غير المرغوب فيه أن تكون خالدا ولك ذاكرة متناهية. ولدى ديسون أفكاره عن الطريقة التي قد تختزن بها المعلومات بتنظيم الإلكترونات الباقية-مثل الشفرة الثنائية للكمبيوتر-وكأنها مغناطيسات صغيرة توجه لأعلى أو لأسفل.

وقد كتب الفلاسفة أن هناك حقيقة واحدة كبيرة. هي أن الحياة بلا هدف، ومع ذلك فإن هناك حافزا سيكولوجيا هائلا للبحث عن هدف فيها كلها. والإبقاء على الجنس البشري، وتنمية الوعي والحضارة هي الخيوط التي تربط الأجيال، ومن هنا كان الاهتمام بالانقراض: فأنت وأنا سوف نموت بالتأكيد في يوم ما ولكن الآخرين سيواصلون سباق المحطات البشرية. وإمكان أن يتوقف السباق هو أمر يثير قلقنا بالفعل.

عندما أفكر فيما حدث في السنوات الخمسين الأخيرة فإني أتساءل عما إذا كنا سنظل باقين في الأعوام الخمسين التالية دع عنك أن يقلق المرء بشأن وقوع انقراض طبيعي. إن العلماء يقيمون الاحتمالات المستقبلية المتعلقة بالبقاء بعد شتاء نووي. وها نحن الآن نكتشف فجأة أن رذاذات الأيروسول تشق ثقبا في طبقة الأوزون الواقية فوق القطبي، مما سيسمح بإدخال إشعاع الشمس بدرجة يمكن بها أن يكون مميتا. وهذه مشاكل من صنع الإنسان قابلة لأن يتم حلها بالحلول السياسية المباشرة.

ثم هناك تهديدات قد يمكننا أو لا يمكننا التعامل معها. فنحن في نظام بيئي واحد مع عالم من الكائنات الدقيقة (المجهرية). وهناك فيروسات تنمو هي وغيرها من الكائنات التي تنشر المرض. والطبيعة تظل دائما تسبق جهودنا بخطوة. ومن المشاهد المحبذة في بعض روايات الخيال العلمي كمصدر تهديد للحياة وجود وعاء مشروخ في معمل من معامل حرب

الجراثيم، ولكن الطبيعة يمكنها أن تقوم هي نفسها بهذه المهمة، ولست أعرف أي قاعدة عامة تقول إن العلم البشري يمكنه بالضرورة أن يقاوم كل الطفرات، على الأقل في المدى الزماني المطلوب.

وكمثال على ما أقول، فعندما بدأت هذا الكتاب، كان الإيدز مرضا لا يعرف عنه عامة الجمهور إلا القليل، أما الآن فقد أصبح يدرك على أنه تهديد كامن للجنس البشري. وعلى الطرف الأقصى، فإن الجنس البشري يمكن أن يتقلص، إذ يغلب عليه الزهاد، والعذارى غير المتزوجات، وبعض نسبة مئوية من ذوي الزيجات الأحادية. وقد يقل عدد السكان بكسر من نسبة مئوية. وقد يقل بمقدار كبير. وفي الحالة الأخيرة سيكون هناك تغيير عميق في بنيتنا الاقتصادية-الاجتماعية إلى أن تفنى الفيروسات حين لا تجد مضيفين تتكاثر فيهم. على أن البشر سيزدهرون ثانية.

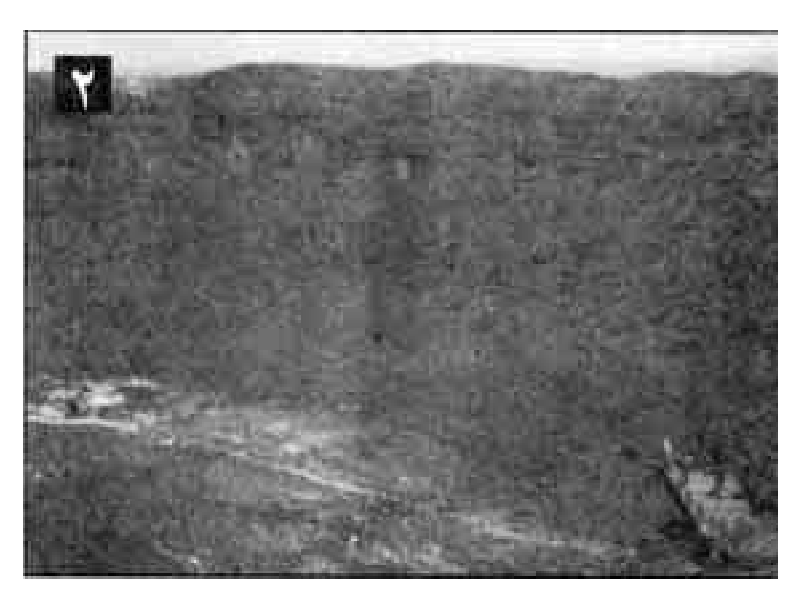
إن احتمال وقوع كارثة طبيعية على المدى القصير هو احتمال صغير، وهو، وإن كان احتمالا أكيدا على المدى البعيد، إلا أن لدينا الكثير من الحياة باقية، وينبغي علينا في المرة التالية أن نكون على درجة كافية من الذكاء للتلاؤم مثلما يفعل النمل.

وأكثر الأشياء خطورة في الكون قد تكون هي البشر أنفسهم. ونحن حاليا في فترة حاسمة حيث ينبغي أن نرتفع بوضعنا الأخلاقي ليتوافق مع نمونا العلمي والتكنولوجي الذي يتزايد سريعا. ولو حدث أن لاقينا مخلوقات متقدمة آتية من عوالم أخرى فسيكون مشجعا لنا أن نعرف أن هذه المجتمعات قد أثبتت إمكان القيام بذلك. وإذا كان لهذا الكتاب رسالة فإنها تتلخص فيما يلي: إننا لسنا أصحاب قدرة كلية. ونحن معرضون لظروف خارجية أكثر كثيرا مما نحب أن نصرح به. ولو استطعنا أن نتواضع بأنفسنا حتى نتبين ذلك، فلربما أمكننا بعدها أن نبدأ في مواجهة الأخطار التي نصنعها بأنفسنا بقدر أكبر من المسؤولية والسرعة. فإن لم نفعل، فسوف نستيقظ ذات صباح لنجد أننا لسنا هنا!

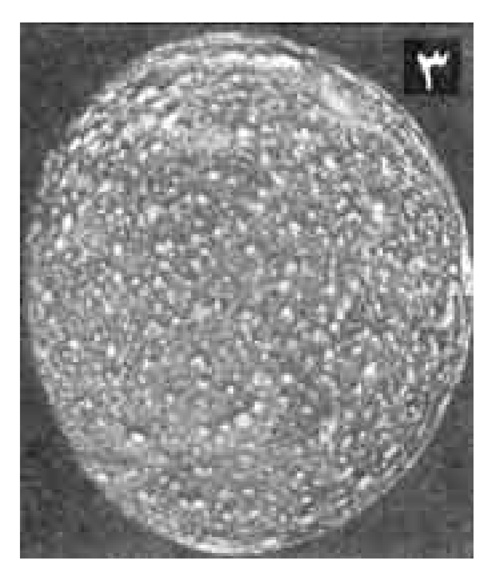

ملحق الصور الضوئية



حفرة شهاب أريزونا، وترى على البعد جبال سان فرنسسكو.

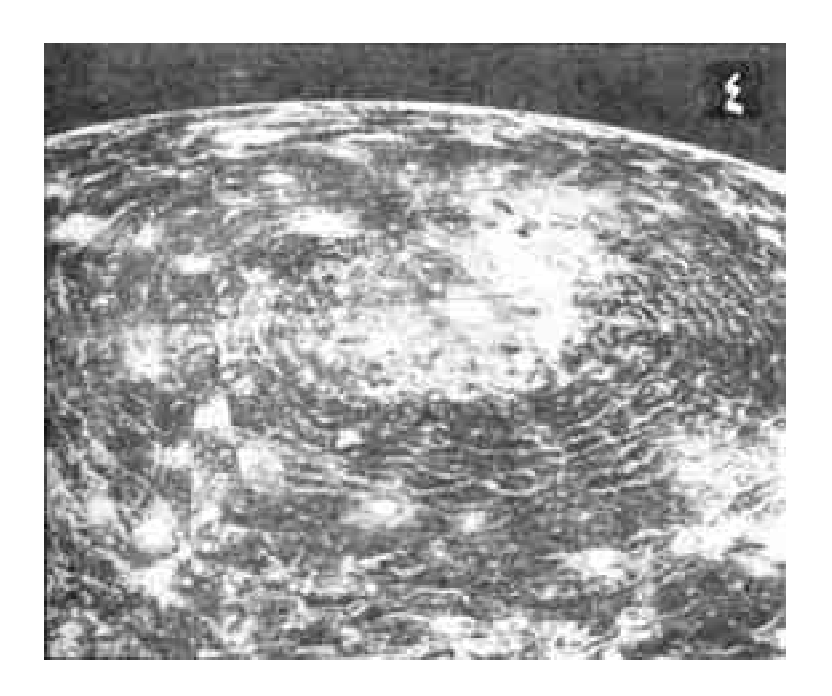


منظر مقرب للحفرة والسياح في يمين الصورة يبينون مدى اتساع الحفرة.



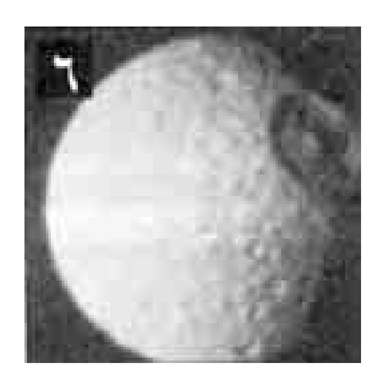
حفرة فوق كالستو: آثار اصطدام نيازك تحفر سطح كالستو (أحد الأقمار التابعة للمشتري).

منظر مقرب للمنطقة العليا من اليمين (الصورة السابقة) يظهر حوض اصطدام هائل يزيد قطره على 350 ميلا.. والدوائر المتدخلة ناتجة عن ذروة موج ثلجية تناظر الأمواج التي نتجت عن الاصطدام الهائل. وهي تمتد لما يزيد على 600 ميل.



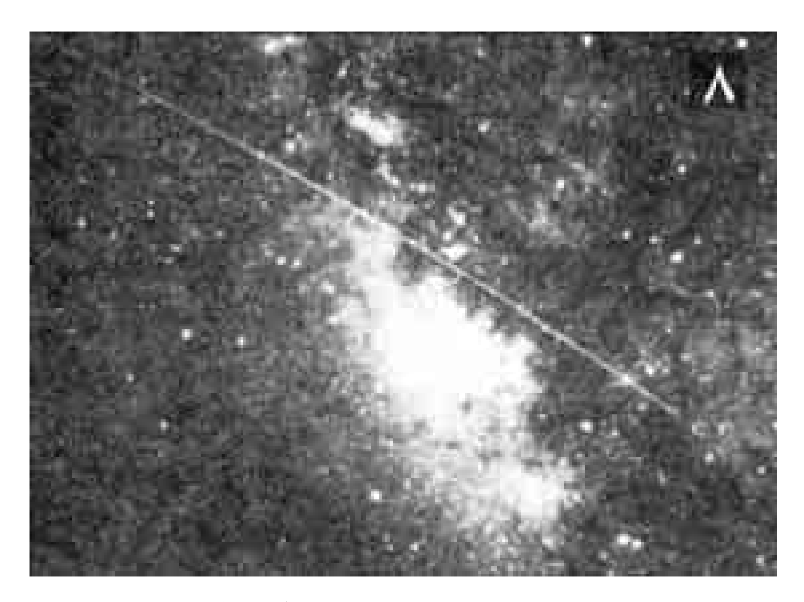


إبيمثيوس، القمر الحادي عشر التابع لزحل وشكله مثل إحدى الأسنان، طوله 80 ميلا وعرضه 40 ميلا، وهو فيما يحتمل شظية من اصطدام عنيف. ويماثل ذلك هيبريون (الصورة 7) القمر التابع لزحل والذي يجري تشبيهه بحبة الفول السوداني وأطواله هي 200*100 ميل.



ميمارس، حفرة هرتشل فوق ميمارس، أحد الأقمار التابعة لزحل، وقطر الحفرة 80 ميلا وعمقها 7 أميال مع نتوء مركزي يرتفع أربعة أميال، وهي فيما يحتمل ناتجة عن اصطدام جرم يبلغ عرضه ثمانية أميال وهي تشغل نحو ثلث حجم ميمارس. ولو كان الاصطدام قد تم بجرم أكبر من ذلك قليلا لسبب ذلك تفتيت ميمارس إلى قطع عديدة.





منظر قلب المجرة من نصف الكرة الجنوبي، خط الذيل يرجع إلى نيزك ربما يكون قد حط في أحراش أستراليا.



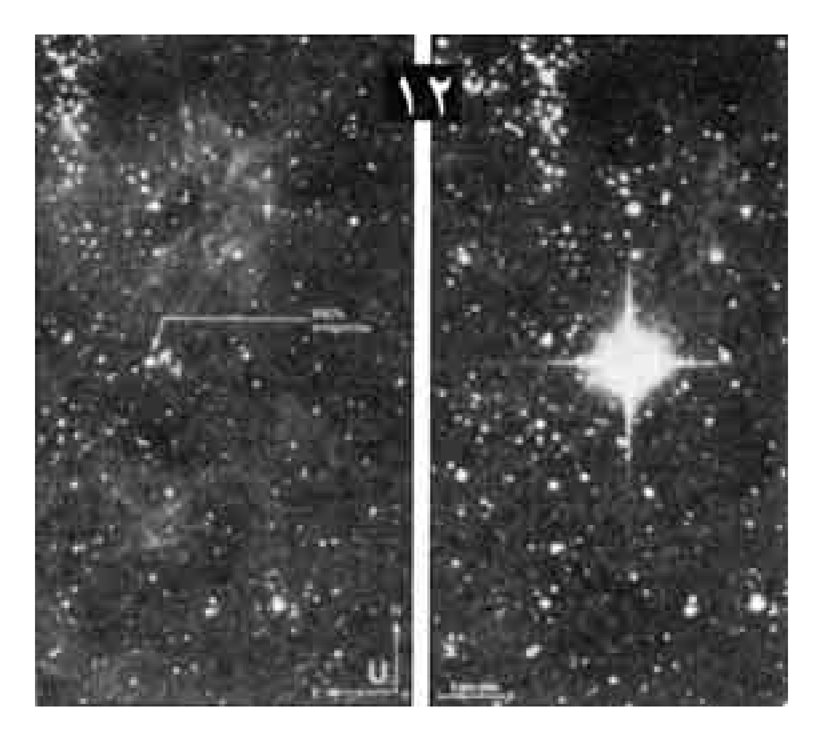
المذنب وست، تم تصويره فوتوغرافياً عام 1976 سنة اكتشافه. وهذا المذنب الساطع لن يعود لآلاف السنين.



مجرتنا في الفضاء، تبين الصورة كيف سنبدو للراصدين في المجرات البعيدة. ودرب التبانة في المنتصف لأعلى في أقصى اليمين. والمجرتان الباهتتان القريبتان منا هما سحابتا ماجلان الكبيرة والصغيرة، وهما مجرتان تابعتان لمجرتنا. وفي الأسفل منا توجد مجرتان كبيرتان، هما المرأة المسلسلة، و (م) 33. وهذه المجموعة من المجرات تشكل «المجموعة المحلية» وهذه بدورها تشكل جزءاً من المجموعة العليا المحلية التي تمركز على مجموعة فيرجو (أقصى اليسار).



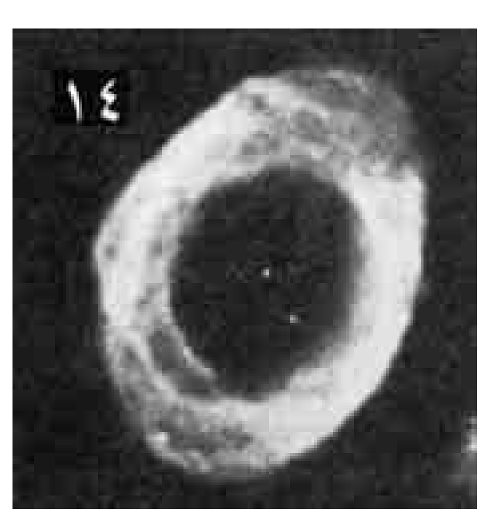
مجرات متوحشة. الجاذبية تشد النجوم من المجرة الصغيرة إلى داخل جارتها الكبيرة.



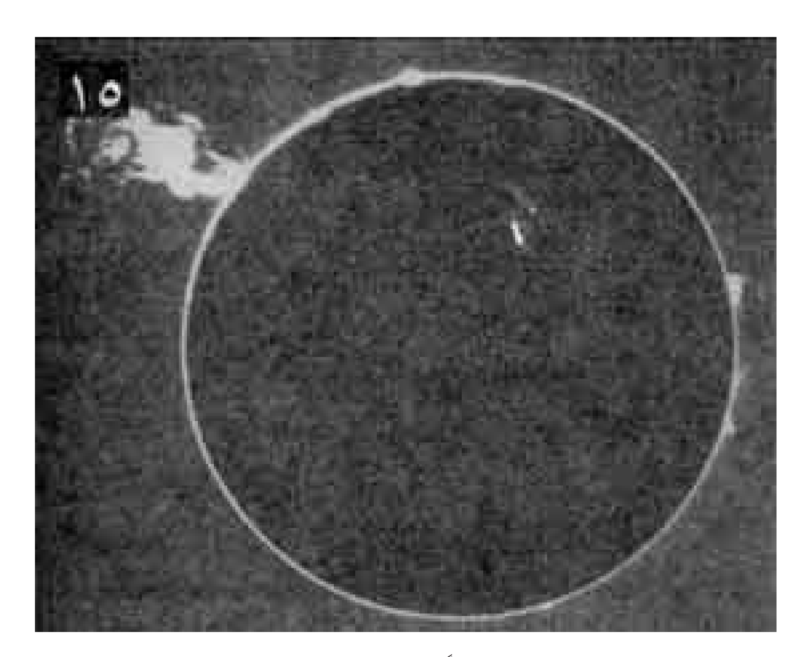
سوبرنوفا في السحابة الماجلانية الكبيرة. أصبحت السحابة الماجلانية الكبيرة مشهورة في عام 1987 بوصفها موطن أول سوبرنوفا تشاهد بالعين المجردة منذ أربعة قرون. وتبين هاتان الصورتان السوبرنوفا والنجوم المحيطة وقد التقطت صورها الضوئية بوساطة تليسكوب شميدت في 26 فبراير 1987 (الصليب هو تأثير ضوئي من التليسكوب). والنجوم المحيطة يمكن تمييزها في الصورة اليسرى التي تبين المشهد قبل انفجار النجم المركزي، والصورة التي إلى اليمين تبين مجال النجوم نفسها بعد انفجار السوبرنوفا.



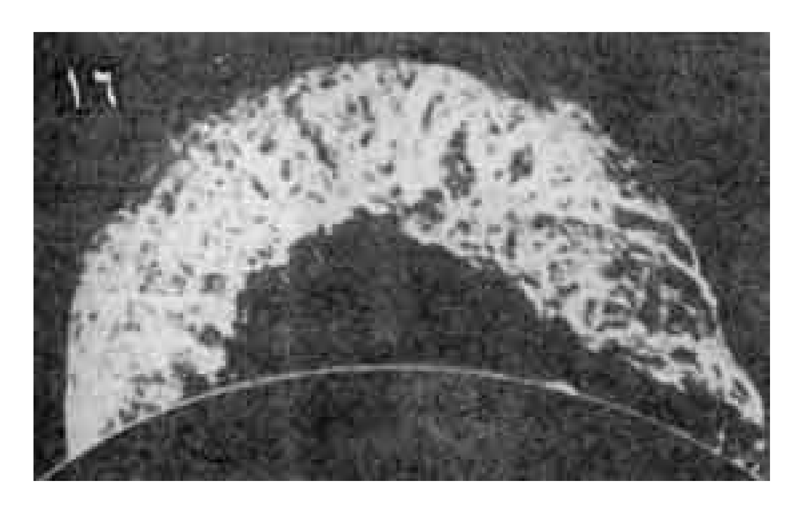
سديم السرطان وهي البقايا التي قذف بها سوبرنوفا عام 1054 بعد الميلاد. وهي تتحرك بعيداً عن المركز بسرعة 1000 ميل في الثانية، وهي سرعة كبيرة حتى ليتغير شكل السديم أثناء حياة الإنسان. وقد تم اكتشاف نجم نابض، أي نجم نيوترون في المركز من سديم السرطان.



السديم الحلقي في ليرا (م75). وهو قشرة من الغاز ألقى بها انفجار نجم يموت، منذ 5500 سة. والحلقة تتسع بسرعة 12 ميلا في الثانية وقد نتجت عن النجم الذي في المركز وهو فيما يحتمل قزم أبيض.



شعلة توهج شمسي ضخمة صورت ضوئياً عام 1974 بوساطة روبرت فيشر بمرصد هلكالا فوق مواي بهاواي.



نتوء شمسي هائل.

اقتراحات لمزيد من القراءة

أوردت هنا قائمة ببعض المراجع (التزمت فيها بذكر الكتب الصادرة بعد 1982، فيما عدا حالات كلاسيكية معدودة) إضافة إلى بعض المقالات، التي قد تساعد القارئ على المزيد من التعمق في بعض الموضوعات تناولها هذا الكتاب. والقائمة ليست كاملة ولا نهائية بحال، فهي ببساطة تحوي مقالات وحدتها مفيدة لمرحلة أو أخرى. وهي تحوي في حالات عديدة مراجع لأعمال سابقة يمكن أن يكون فيها ما يعين القارئ على التعمق في بحث الموضوعات الأساسية. ومجالات البحث غالبا ما تكون بحكم طبيعتها موضع جدل، وقد اخترت هنا منظوري الشخصي. إن العديد من القضايا مازال مثارا للجدل، وهذه المقالات تساعد على إضفاء نكهة من بعض أوجه الخلاف.

R. Harrington and T. van Fladern, Icarus, vol. 39 (1979), p. 131.

R. Grieve and P. Robertson, 'Earth craters', Icarus, vol. 38 (1979), p. 212.

W. Napier and V. Clube, 'A theory of terrestrial catastrophism', Nature, vol. 282 (1979), p.455.

R. Kerr, 'Impact Looks real, the catastrophe samller', Science, November 1981, p. 896.

D. Hughes, 'The first meterorite stream', Nature, September 1982, p. 14

R. Ganapathy, 'A major meterorite impact on Earth 34 million years ago: Implications for Eocene extinctions, 'Science, May 1982, p. 885.

'Close encounters in Space', Sky and Telescope, June 1982, p. 570.

D.J. Michels 'Observation of a Comet on collision course with the Sun', Science, vol. 215 (1982), p. 1097.

R. Ganapathy, 'Tungusku: Discovery of meterorite debris...', Science,

June 1983, p. 1158.

R. Grieve, 'Impact craters shape planet surfaces', New Scientist, November 1983, p. 517.

'Geological rythms and cometary impacts', Science, December 1984, p. 1427.

D. Hughes, 'Meterorites from Mars', Nature, October 1984, p. 411.

R. Knacke, 'Cosmic dust and the Comet connection', Sky and Telescope, September 1984, p. 206.

I. Halliday et al., 'Frequency of meterorite falls on Earth', Science, March 1984, p. 1405.

D. Steel and W. Baggaley, 'Collisions in the solar system-Impacts of the Apollo asteroids upon the terrestrialo planets', Monthly Notes of the Royal Astronomical Society, vol. 202 (1985), p. 817.

E. Marshal, 'Space junk grown with weapons tests', Science, October 1985, p. 424.

'Voyager 2 at Uranus', Sky and Telescope, November 1985, p. 42. M. Waldorp, 'Voyage to a blue planet', Science, Ferbruary 1986, p. 916.

A. P. Boss, 'The origin of the Moon', Science, January 1986, p. 341.

'Io spirals towards Jupiter', New Scientist, January 1986, p. 33.

'Giotto finds a big black snowball at Halley', Science, March 1986, p. 1502.

'Are cometary nuclei primordial rubble piles?' Nature, March 1986, p. 243.

Extinctions

L. Spencer, Mineralogy Magazine, vol. 295 (1939), p.425.

J. Laurence Kulp, 'The geological time scale', Science, vol. 133 (1961), p. 1105.

S. Durrani, Physics of the Earth and Planets, vol .4 (1971), p. 251.

N. Snelling, 'Measurement of the geological time scale,' Talk at British Association of Science, 1987; editor of Chronology of the Geological Record, Geological Society of London, Memoir No. 10 (published by Blackwell, Oxford, 1985).

H. Urey, Nature, vol. 242 March (1973), p. 32.

A. W. Alvarez et al. 'Extraterrestrial cause for the Cretaceous - Tertiary extinction', Science, June 1980, p. 1095.

R. Ganapathy 'A major meterorite impact on Earth 65 milion years ago: Evidence from the Cretaceous - Tertiary boundary caly', Science, August 1980, p. 921.

R. Ganapaty, 'A major meterorite impact on Earth 34 million years ago: Implications for Eocene extinctions', Science, May 1982, p 885; for an opposing opinion see G. Keller et a!., Science, vol. 221 (1983), P. 150.

P.J. Smith, The origin of tektites - settled at last? Nature, November 1982, P. 217.

Extinctions and ice ages- are comets to blame? New Scientist, June 1982, p. 703.

C. Officer and C. Drake, The Cretaceous Tertiary transitional, Sci ence, March 1983, p. 1383.

Extinctions by catastrophe? Five articles in Nature, Aprill 1984, pp. 709-20, and commentary p. 685.

Periodic impacts and extinctions, Science, March 1984, p. 1277 (Report of a workshop on comet impacts and their effect on evolution). Mass extinctions in the ocean, Scientific American, June 1984, p. 46. Geological rhythms and cometary impacts, Science, December 1984, p. 1427.

Ammonoids and extinctions, Nature, January 1985, p. 12 and PP. 17- 22.

The dinosaur controversy: Nature, June 1985, pp. 627 and 659; Sci ence, March 1985, p. 1161; New Scientist, November 1984, pp. 9
and 30.

Extinctions ARE periodic, New Scientist, March 1986, p. 27.
R.E. Solan et al., Gradual dinosaur extinction, Science, May 1986, p. 629.
C. B. Officer et al., Cretaceous and paroxysmal Cretaceous-Tertiary extinctions, Nature, vol. 326 (1987), p. 143.

The Sun

J. Eddy, The Maunder Minimum, Science, vol. 192 (1976), p. 1189. F. Close, Is the Sun still shining?, Nature, vol. 284 (1980).
J. Gribbin, The Strangest Star, Fontana, 1980.
100 to 200 year solar periodicities, Nature, September 1982, P. 14. S. Sofia et a!., Solar radius change between 1925 and 1979, Nature, August 1983, P. 520.
J. Parkinson, New measurement of the solar diameter, Nature, Au gust 1983, P. 518.
Chasing the missing solar neutrinos, New Scientist, January 1984, p. 20.
R.A. Kerr, The Sun is fading, Science, January 1986, p. 339.
Hans Bethe on solar neutrinos, Nature, April 1986, P. 677.
G. Williams, The solar cycle in Precambrian time, Scientific Amer ican, 1986, p. 80.
R. Bracewell, 'Simulating the sunspot cycle' Nature, vol. 323, (1986), p. 516.
F. Paresce and S. Bowyer, 'The Sun and the intersellar medium, Scientific American, September 1986, p. 89.
'600 million years of solar cycles', New Scientist, October 1986, p. 29.
W. Haxton, 'The solar neutrino problem', Comments on Nuclear and Particle Physics, vol. XVI (1986), p. 95.
J. Bahcall, G Field and W. Press, 'Is solar neutrino capture rate correlated with supsot number?', Princeton University report, 1987.

the Galaxy

F. Hoyle and R. Lyttleton, 'The effect of intersteller matter on climate variation',

Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, vol. 35 (1939), p. 405.

W.H McCrea, 'Ice-ages and the galaxy', Nature, vol. 255 (1975), p. 607.

L. Blitz et al., 'The new Milky Way', Science, June 1983, p. 1233.

"The Earth's orbit and ice-ages', Scientific American, February 1984, p. 42.

'A black hole at the galatic centre', Nature, vol. 315 (1985), p. 93.

'The galactic centre: Is it a massive black hole?', Nature, September 1986, p. 1394.

Stars and Supenovae

E. Norman, 'Neutrino astronomy: a new window on the universe', Sky and Telescope, August 1985, p. 101.

D. Patterson, 'A supernova trigger for the solar system', New Scientist, May 1978, p. 361.

A. Burrows and T. Mazurek, 'Signatures of stellar collapse in electrotype neutrinos', Nature, January 1983, p. 315.

M. 'Dead Stars', Nature, March 1984, p. 142.

S. Chandrasekhar, 'Stars: their evolution and stability' (Nobel lecture), Science, November 1984, p. 479.

'Supernova sets limit on Neutrino mass', New Scientist, March 1987, p. 24.

The Nature of Matter

F. Close, the Cosmic Onion, Heinemann Educational, 1983 (American Institute of Physics, 1987).

F. Close, M. Marten and C. Sutton, The Particle Explosion, Oxford University Press, 1987.

C. Sutton, Building the Univers, Blackwell, 1985.

M. Turner and F. Wilczek, Nature, vol. 298 (1982), p. 633.

M. Rees and P. Hut, Nature, vol. 302 (1983), p. 508.

E. Witten, 'Strange matter', Physical Review, vol, D30 (1984), p. 272.

M. Green, 'Stuperstrings', Scientific American, September 1986, p. 44.

Drak Matter and the Missing Mass

'Dark matter in spiral galaxies', Scientific American, June 1983, p. 88.
V. Rubion, 'The rotation of spiral galaxies', Science, June 1983, p. 1339.
L. Blitz et al., 'The new Milky Way', Science, June 1983, p. 1233.
J. Silk, 'The black cloud', Nature September 1983, p 388.
'New light on dark matter', Science, June 1984, p. 971 (Report on a workshop at Fermi Laboratory, Chicago).
P. Hut and S. White, 'Can a neutrino dominated universe be rejected?' Nature, August 1984, p. 637.
'Candidates for cold dark matter', Nature, October 1984, p. 517.
'Tracking down the missing mass', New Scientist, January 1986, pp. 32, 37-40.
J. Bahcall and S. Casertano, Astrophysical Journal, vol. 293 (1985), p. 1-7.
'New clues to galaxy formation', New Scientist, January 1986, p. 34.
M. Rees, Monthly Notes of the Royal Astronomical Society, vol. 218 (1986), p. 25.
M. Waldrop, 'In search of dark matter', Science, September 1986, p. 1386; October 1986, p. 152.

The Future

F. J. Dyson, 'Time without end', Reviews of Modern Physics, vol. 51 (1979), p. 447.
G. K. O'Neill, 'The colonisation of space', Physics Today, September 1974.
J. Barrow and F. Tipler, 'Eternity is unstable', Nature, vol. 276 (1978), p. 453.
'Thermodynamics of a closed universe', Nature, March 1984, p. 319.

معجم

جسيم الفا: Alpha particle نواة هليوم تتألف من «بروتونين» و«نيوترونين» يتماسك أحدها بالآخر في إحكام. وقد يتم بثها في الاضمحلال الإشعاعي لإحدى «النوى» (انشطار).
ضديد المادة :Antimatter لكل نوع من الجسيمات الأساسية يوجد ضديد للجسيم له كتلته نفسها لكنه يحمل شحنة كهربية. وعندما يلتقي أحد الجسيمات بضديده يفني أحدهما الآخر بالتبادل وتنطلق طاقة.
كويكب :Asteroid أجرام صخرية تدور حول الشمس. ومعظمها يدور بين المريخ والمشتري، إلا أن العديد منها له مسارات تقطع مسارنا. وهي بقايا من «المذنبات» والحطام الناتج عن الاصطدام بين حفنة من الأجسام الصغيرة التي تكثفت بين المريخ والمشتري أثناء تكون المنظومة الشمسية. وتعرف أيضا بالكواكب الصغرى أو أشباه الكواكب.
الذرة :Atom منظومة من «إلكترونات» تدور حول «نواة». وهي أصغر جزء من العنصر يمكن تحديده على أنه هذا العنصر.
الشفق القطبي :Aurora عرض لضوء منتشر يرى عاليا في الجو يكون أساسا في أقصى المناطق القطبية. وهو ينتج عن جسيمات مشحونة وقعت في أسر مجال الأرض المغناطيسي.
اضمحلال بيتا :Beta decay اضمحلال «نواة» مشعة مع إنتاج إلكترون (جسيم بيتا). والعملية التي تشكل الأساس في ذلك الاضمحلال هي تحول أحد «النيوترونات» إلى «بروتون» مع بث «إلكترون» و«نيوترينو». وهذه العملية يتحكم فيها «التفاعل الضعيف» وهي أول مظهر عرف لهذا التفاعل.
جسيم بيتا :Beta Particle «إلكترون» يبثه الاضمحلال الإشعاعي لإحدى «النوى» (اضمحلال بيتا).
الانفجار الكبير :Big Bang المجرات تتراجع إحداها عن الأخرى: فالكون يتمدد. ونظرية الانفجار الكبير تفترض أن هذا التمدد بدأ منذ 10- 20 بليون سنة عندما كان الكون في حالة تكثف هائلة.
الثقب الأسود :Balck hole منطقة حيث الجاذبية قوية جدا حتى أن الضوء لا يستطيع الإفلات. ويفترض أنه يتشكل عندما تتقلص بعض النجوم. والتأثير الجذبي للنجم المتقلص يمكن الإحساس به ولكن ما من معلومات تفلت من داخل الثقب الأسود.
المذنبات :Comets أعضاء في المنظومة الشمسية تتحرك حول الشمس في مدارات مطولة. ويعتقد العديد من علماء الفيزياء الفلكية أنها أقرب في الشبه إلى كرات ثلج قذرة يصل حجمها إلى الميل. وهي جد رقيقة بحيث إن «الرياح الشمسية» تذرو منها مادتها وينتج عنها أذيال طويلة من الغاز والغبار، وذلك هو مظهرها المألوف في السماء.
الأشعة الكونية :Cosmic rays جسيمات ونوى ذات سرعة عالية تأتي من الفضاء الخارجي.
ديوترون :Deutron نواة تتألف من «بروتون» واحد و«نيوترون» واحد. وأحيانا تسمى بالهيدروجين الثقيل. وبتم إنتاجها في مرحلة متوسطة من «الاندماج» الذي يحدث في النجوم.
القوة الكهرومغناطيسية :Electromagnetic Force إحدى القوى الرئيسية في الطبيعة. فالتجاذب ما بين الجسيمات ذات الشحنات المضادة يجعل «الإلكترونات» ذات الشحنة السالبة تدور أسيرة حول «النواة» ذات الشحنة الموجبة داخل «الذرات».

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic radiation: طاقة تبثها الأجسام ذات الشحنة الكهربية. والأمثلة المألوفة لذلك تشمل الضوء، وأمواج الراديو (اللاسلكي)، والميكروويف، وأشعة إكس، و«أشعة جاما».

الإلكترون Electron: جسيم أولي ذو شحنة سالبة وأحد مكونات «الذرة». وهو ما يحمل الكهرباء خلال الأسلاك.

إلكترون فولت (ا ف) Electonvolt (ev): وحدة طاقة. و (ا ف) واحد هو الطاقة المكتسبة عندما يتم تعجيل «إلكترون» واحد بجهد من فولت واحد.

انشطار Fisslon: تحطيم «نواة» كبيرة إلى نوى أصغر.

اندماج Fusion: اتحاد نوى صغيرة مكونة نوى أكبر.

شعاع جاما Gamma ray: نوتون، «إشعاع كهرومغناطيسي» ذو طاقة عالية جدا.

أيون Ion: «ذرة» تحمل شحنة كهربائية بسبب تجريدها من «إلكتروناتها» (أيون موجب) أو بسبب إضافة إلكترونات إضافية (أيون سالب).

شهاب Meteor: خط الضوء الذي يرى في سماء الليل الصافية عندما يحدث أن يحترق في الطبقات العليا لجو الأرض جسيم صغير من الغبار أو الحجارة التي ما بين النجوم.

نيزك Meteorite: «شهاب» يحط على الأرض، بقايا «شهابيات» يعثر عليها على الأرض.

شهابيات Meteoroid: مصطلح جمعي يطلق على المادة الشهابية في المنظومة الشمسية.

جزيء Molecule: مجموعة من الذرات.

سديم Nebula: غاز أو مجموعة من النجوم تظهر كضباب ساطع في سماء الليل الصافية.

نيوترينو Neutrino: جسيم أولي متعادل كهربائيا، له كتلة قليلة أو بلا كتلة. وهو أكثر الجسيمات غزارة في الكون ولا يشارك إلا في «التفاعلات الضعيفة»، ويتم إنتاجه في عمليات النشاط الإشعاعي وكمنتج ثانوي من «الاندماج» الذي يحدث في النجوم ومن «السوبرنوفا» (أو النجم المتفجر فائق التوهج).

نيوترون Neutron: زميل «البروتون» في النوى الذرية، وهو بلا شحنة كهربائية.

نواة Nucleus: المركز الكثيف «للذرة» ويتكون من «نيوترونات» و«بروتونات». والأخيرة تعطي النواة شحنة كهربائية موجبة تتجذب إليها «الإلكترونات» فتتكون الذرة.

فوتون Photon: حزمة من «الإشعاع الكهرومغناطيسي»، وحامل القوة الكهرومغناطيسية.

بلازما Plasma: غاز من «أيونات» و«إلكترونات» تتحرك تحركا حرا. والبلازما هي في الواقع غاز متأين.

بوزيترون Positron: ضديد «الإلكترون». وهو يحمل شحنة كهربائية موجبة. ويظل مستقرا حتى يلاقي أحد الإلكترونات، وعندها يفني الاثنان أحدهما الآخر إلى «إشعاع كهرومغناطيسي».

بروتون Proton: أحد الجسيمات المكونة «للنواة» ويحمل شحنة موجبة ويعطي النواة شحنتها الكهربائية وهو يتكون من ثلاثة «كواركات».

نجم أولي Protostar: مرحلة مبكرة في تكوين النجوم. ويتم انفصاله كشظية من سحابة غاز ثم يأخذ في التقلص ولكن التفاعلات النووية لم تبدأ فيه بعد.

الكوارك Quark: يعتقد أنه أحد المكونات الأساسية للمادة. وتجمعات الكواركات تشكل «النيوترونات» و«البروتونات» في النواة الذرية.

كوازار (أشباه النجوم) Quasar: اختصار لاسم Quasi-Stellar object: أي جرم يشبه النجوم. وهو جرم

مدموج يوجد خارج المجرات ويبدو كنقطة ضوء إلا أنه يبث طاقة اكثر من مئات المجرات المجتمعة. وهو من بين أكثر الأجرام بعدا فيما رصدناه من الكون.

نشاط إشعاعي :Radioactivity اضمحلال تلقائي وتحول «للنوى» مع بث لجسيمات تشمل أشعة ألفا أو بيتا أو جاما.

نجم بذيل :Shooting star كلمة أخرى للدلالة على الشهاب.

توهجات شمسية: :Solar Flare سطوع مفاجئ في سطح الشمس المرئي يبقى زمنا قصيرا وينجم عن انطلاق متفجر للطاقة في شكل جسيمات وإشعاع.

رياح شمسية :Solar Wind تدفق من جسيمات مشحونة كهربائيا، هي في الأساس «إلكترونات» و«بروتونات»، تسري من الشمس إلى داخل المنظومة الشمسية.

المادة الغريبة:Strange matter شكل مفترض من المادة تحتوي «نوى» ذراته على نسبة جوهرية من «الجسيمات الغريبة» بالإضافة إلى «الكواركات» التي تكون «النيوترونات» و«الروتونات» في النوى الطبيعية.

الجسيمات الغريبة :Strange Particles تشكيلة متنوعة من الجسيمات ليست مستقرة في الظروف الطبيعية على الأرض، ولكنها قد تصل إلى الاستقرار وهي في داخل «المادة الغريبة». وقد تمت رؤيتها في «الأشعة الكونية» وإن كانت تزول سريعا، كما يتم إنتاجها في معجلات الجسيمات.

البقع الشمسية :Sun spots مناطق مظلمة نسبيا على سطح الشمس، ويختلف عددها حسب دورة طولها 11 سنة على وجه التقريب (دورة بقع الشمس).

سوبرنوفا :Supernova ظهور مفاجئ أو سطوع مفاجئ لأحد النجوم ينتج عن انفجار يعصف بمعظم مادة النجم الخارجية ويصحب ذلك تقلص ما بقي منه إلى كرة كثيفة من «النيوترونات» (نجم نيوتروني) أو إلى «ثقب أسود».

(قوة) التفاعل الضعيف :Weak interaction(Force) إحدى القوى الأساسية في الطبيعة. وأشهر مظهر لها هو «اضمحلال بيتا»، كما تشارك أيضا في بعض الاضمحلالات الإشعاعية «للنوى» وفي تفاعلات «النيوترينو».

الويمبات :Wimps الحروف الأولى لـ Weakly Interacting Massive Particles أي الجسيمات الثقيلة ذات التفاعل الضعيف، وهي جسيمات مفترضة أكثر ثقلا من «البروتونات» وتشارك في «التفاعل الضعيف». وربما تكون قد تكونت سريعا بعد «الانفجار الكبير»، ومازالت توجد في مركز النجوم مثل الشمس. وإذا كان ذلك صحيحا فإنها قد تؤثر في دورة الوقود الداخلية بالشمس.

المؤلف في سطور:

البروفسير فرانك كلوز

* واحد من أبرز العلماء الشبان العاملين في حقل الفيزياء النظرية في بريطانيا، ومرجع عالمي في فيزياء الجسيمات. وهو أيضا من المهتمين بتبسيط العلم، ويكتب بانتظام في «الجارديان» ومجلة «Nature» و «New Scientist»، ويشارك أيضا في إعداد البرامج العلمية في هيئة الإذاعة البريطانية.

* من مؤلفاته «بصلة الكون»، وهو مرشد للقارئ العام في فيزياء الجسيمات، و«انفجار الجسيم» (مع مايكل مارتن وكرستين ساتون)، وهو تاريخ مصور للفيزياء الذرية للقرن العشرين، كما كتب العديد من البحوث، وكتابا يعد مرجعا تخصصيا.

* قد درس في جامعات سانت أندروز وأكسفورد، وحصل على منحة علمية بجامعة ستانفورد، والمركز الأوروبي للأبحاث النووية في جنيف، وشغل مناصب عليا في معمل روذرفورد أبلتون وكلية الملكة ماري في جامعة لندن، وهو حاليا أستاذ للفيزياء في جامعه تنيسي.

المترجم في سطور:

د. مصطفى إبراهيم فهمي

* كالوريوس الطب والجراحة-جامعة القاهرة، 1954.

* كتوراه في الكيمياء الإكلينيكية، جامعة لندن، 1969.

* عمل أستاذا للكيمياء الإكلينيكية بالأكاديمية الطبية

الكتاب القادم

جذور الاستبداد

تأليف:

د. عبد الغفار مكاوي

العسكرية، 1980، ورئيسا لقسم الباثولوجيا الإكلينيكية، 1983، ورئيسا للمجلس الموحد للأمراض الباطنية 1985.

* نشر ما يزيد على ثلاثين بحثا في الكيمياء الإكلينيكية بالدوريات الإنجليزية والعربية.

* ترجم كتابي «التنبؤ الوراثي» و«علم الأحياء والأيديولوجيا والطبيعة البشرية»، نشرا في سلسلة عالم المعرفة، 1988, 1990 على الترتيب.

المراجع في سطور:

عبد السلام رضوان

* ليسانس آداب جامعة عين شمس، قسم الفلسفة 1969.

* يعمل حاليا في الأمانة العامة للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.

* ترجم عدة كتب منها:

«الإخوان المسلمون» ريتشارد ميتشيل 1976, 1984- «مسرح الشارع في أمريكا» هنري ليسنك 1979- «الوفد وخصومه» ماريوس ديب، 1985- «المتلاعبون بالعقول» هربرت شيللر، عالم المعرفة 1986- «حاجات الإنسان الأساسية في الوطن العربي» «برنامج الأمم المتحدة للبيئة» عالم المعرفة 1990-«الإنسان ومراحل حياته» 1989.

هذا الكتاب

معظم الناس يعرفون شيئا عما يهدد كوكبنا الأرضي من مخاطر الحروب النووية ومخاطر تلوث البيئة، أما احتمالات الكوارث الكونية فليست موضع اعتبار إلا عند القلة. وفي هذا الكتاب يقوم المؤلف فرانك كلوز، بدور الدليل الذي يقودنا في رحلة علمية يتضح فيها الكثير مما يثير التفكير والتأمل عن مخاطر ينبغي أن تشغلنا. فهناك مذنبات وكويكبات اصطدمت بالكواكب مثل كوكب عطارد وكوكبنا الأرض، وتركت آثارها في حفر هائلة في كل مكان، منها ما هو ظاهر حتى الآن في أريزونا بأمريكا الشمالية وفي جنوب غرب أفريقيا. بل إن هناك نظرية تذهب إلى أن أحد هذه الاصطدامات ربما كان السبب في انقراض الديناصورات. فإذا واصلنا الرحلة في منظومتنا الشمسية وجدنا أن الشمس يمكن أن تكون في طريقها إلى استنفاد طاقتها، كما أن هناك نجوما تنفجر بما قد يهدد كوكبنا، بل إن الفضاء نفسه فيه ما يدل على عدم استقراره. ويقدم كلوز عرضا سلسا لآخر الأبحاث في علوم الجيولوجيا والكونيات وفيزياء الجسيمات، ولآخر ما وصلنا من معلومات من سفن الفضاء التي تسبره، وتكشف كل هذه الأبحاث عن كون هش بما هو أغرب من روايات الخيال العلمي. أما الحل المأمول للبقاء وتجنب هذه الكوارث فهو باتخاذ إجراءات لا تقل عن ذلك غرابة، تهدف إلى إنشاء مستعمرات في الفضاء يأوي إليها الإنسان، أو أن تتحقق وثبة كيفية في مدارج التطور ينتج عنها إنسان مختلف عن الإنسان الحالي.